№22
2023

Механики XXI веку

Научное
периодическое
издание

ББК 34

Научное периодическое издание по материалам XXII Всероссийской научно-технической конференции

Механики XXI веку

№ 22 2023г.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Рыков С.П. – **председатель конференции**, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск;
Огар П.М. **–** д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск;
Зеньков С.А.- к.т.н., зав. кафедрой «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск
Архипов П.В. **–** к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск;

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Рыков С.П. – д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Федоров В.С. **–** к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

Издается с 2004 года. Периодичность 1 номер в год

Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке Elibrary.ru

Перепечатка материалов из журнала «Механики XXI веку» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

Адрес редакции: 665709, Российская Федерация, Иркутская область,
г. Братск, ул. Макаренко, 40,
Факультет транспортных систем и лесного комплекса,
кафедра «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудования», тел: 8(3953)344-000 доб.365
E-mail: mechanics@brstu.ru Сайт: http://www.brstu.ru

Братск 2023

XXII Всероссийская научно-техническая конференция
"МЕХАНИКИ XXI ВЕКУ"
25…26 Мая 2023 г.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

Эксплуатация и ремонт машин и оборудования;
Конструкции, технические и эксплуатационные свойства транспортных средств;
Современные технологии и автоматизация в машиностроении;
Материаловедение, динамика и прочность машин и механизмов.

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», г. Братск, Россия

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Рыков С.П. **– председатель конференции**, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, тел: 8(3953) 32-53-61; ***Архипов П.В.*** - к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск; ***Огар П.М.*** - д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск; ***Зеньков С.А.***- к.т.н., зав. кафедрой «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск ***Федоров В.С.*** - к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ БрГУ, г. Братск.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Федоров В.С. - к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» БрГУ; ***Архипов П.В.*** - к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ БрГУ.

© Авторы публикаций, 2023
© ФГБОУ ВО «БрГУ», 2023

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.878.23

Использование лазерных систем управления на бульдозере

Зеньков С.А.[1,a], Минеев Д.А.[1], Высоцкий Е.С.[1], Ревин Д.В.[1]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]mf@brstu.ru

Ключевые слова: лазерные системы, системы управления, бульдозер.

В данной работе проведен анализ работы системы автоматического управления положением рабочего органа бульдозера САУЛ-1.В настоящее время система САУЛ-1 может применяться совместно с датчиками углового положения и датчиками, регулирующими загрузку двигателя и защищающие его от перегрузок. Применение лазерного управления позволяет значительно повысить качество планировки, а следовательно эффективность работ, сократить затраты материалов при строительстве дорог, увеличить производительность и экономию топлива. Также достоинством применения их является возможность управлять сразу несколькими машинами и управлять одновременно положением рабочего органа машины по поперечному уклону и по высоте (установить фотоприемник на оба конца отвала).

В последнее время большое внимание уделяется разработке и внедрению систем автоматизации бульдозеров, направляющие устройства которых используют лазер (рис.1). Эти устройства подразделяют на два типа: а) используют лучевые копиры с цилиндрическим лучом; б) лазерные устройства, создающие направляющую плоскость [1-12].

Лазерные устройства с цилиндрическим лучом используются при устройстве криволинейных участков автомобильных дорог, для чего необходимо установить стойки с призмами, т.е. образуя сплошной лучевой копир для машины.

Как показывает анализ отечественного и зарубежного опыта использования лазерных направляющих для землеройно-транспортных машин, это особенно эффективно при групповом управлении. В этом случае на объекте строительства устанавливается один излучатель, от которого могут работать несколько машин (обычно 6…10).

Рис. 1. Бульдозер с лазерной системой управления

В дорожном и железнодорожном строительстве один излучатель позволяет вести обработку полотна на длине 800м.

В настоящее время промышленностью освоены и серийно выпускаются автоматизированные бульдозеры, скреперы, автогрейдеры и аппаратура автоматического управления к ним.

Автоматическое управление машинами базируется на использовании лазерной системы «САУЛ-1», которая является основной частью системы стабилизации положением рабочего органа строительно-дорожных машин и состоит из лазерного излучателя ЛИ-1 и приемного устройства ЛПУ-1 (фотоприемник и пульт управления), причем количество ЛПУ-1 может быть любым и определяется потребителем при заказе.

Лазерный излучатель ЛИ-1 является задающим устройством для стабилизации рабочего органа и обеспечивает развертку лазерного луча в диапазоне 360о, и создает, поэтому стабилизированную световую плоскость, которая может устанавливаться горизонтально или с относительным уклоном к горизонту в пределах от 0 до 0,03. Фотоприемное устройство ЛПУ-1 является датчиком с круговым обзором и служит для регистрации световых импульсов, создаваемых лазерным передатчиком и преобразования их в электрические сигналы, управляющие работой электрогидрозолотника типа ЗСУ-5, который контролирует положение рабочего органа машины.

В настоящее время система САУЛ-1 может применяться совместно с датчиками углового положения и датчиками, регулирующими загрузку двигателя и защищающие его от перегрузок.

Применение лазерного управления позволяет значительно повысить качество планировки, а следовательно эффективность работ, сократить затраты материалов при строительстве дорог, увеличить производительность и экономию топлива. Также достоинством применения их является возможность управлять сразу несколькими машинами и управлять одновременно положением рабочего органа машины по поперечному уклону и по высоте (установить фотоприемник на оба конца отвала).Недостатком лазерной системы управления является ее высокая стоимость.

Расчет гидропривода лазерной системы САУЛ-1 рассмотрим на примере ее применения на бульдозере Б-10М. Перейдем к выбору рабочих жидкостей.

Марку масла выбираем исходя из условий эксплуатации, типа насоса и диапазона температур (табл.1,2).

Таблица 1

Параметры масла ВМГЗ для работы в зимнее время

Плотность при t = 50° С, кг/м^3	860
Вязкость, 10 $^{-6}$ м/с^2: при t = 50° С при t = 0° С	10 66
Температура: застывания, °С вспышки, °С	-60 135
Температурные пределы применения, °С	-40...+35

Таблица 2

Параметры масла МГ-30 для работы в летнее время

Плотность при t = 50° С, кг/м^3	980
Вязкость, 10 $^{-6}$ м/с^2: при t = 50° С при t = 0° С	30 760
Температура: застывания, °С вспышки, °С	-35 190
Температурные пределы применения, °С	-10...+60

Определяем мощность и подачу насосов. На бульдозере Б-10М применяется шестеренный насос НШ-100А-3ЛТ, характеристики которого приведены в табл.3

Таблица 3

Параметры шестеренного насоса НШ-100А-3ЛТ

Рабочий объем, $см^3$/об	98,2
Давление, МПа номинальное максимальное	10 14
Частота вращения номинальная, об/мин	1500
КПД: объемный механический общий	0,94 0,90 0,85

Подача насоса [5]:

$$Q_Н = 10^{-3} q_Н n_Н \eta_{ОБ.Н};$$

где $q_Н$ - рабочий объем насоса, $см^3$/мин; $n_Н$ - число оборотов вала насоса, об/мин; $\eta_{ОБ.Н}$ - объемный КПД насоса.

$q_Н = 98{,}8$ $см^3$/об; $n_Н = 1500$ об/мин; $\eta_{ОБ.Н} = 0{,}94$.

$$Q_Н = 10^{-3} \cdot 98{,}8 \cdot 1500 \cdot 0.94 = 140 \text{ л/мин.},$$

Мощность насоса (привода):

$$N_Н = \frac{P_{НОМ} Q_Н}{61{,}2 \eta_{ГМ.Ц} \eta_{ГМ.Н}}, \text{ кВт.}$$

где $P_{ном}$ – номинальное давление, МПа; $Q_н$ – требуемая подача насоса, л/мин; $\eta_{гм.н.}$, $\eta_{гм.ц.}$ – гидромеханический КПД насоса и гидроцилиндра.

$P_{ном} = 10$ МПа; $\eta_{гм.н} = 0{,}85$; $\eta_{гм.ц} = 0{,}95$.

$$N_Н = \frac{10 \cdot 140}{61{,}2 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}95} = 28{,}3 \text{ кВт.}$$

Далее выбираем регулирующую аппаратуру. Для гидроцилиндров отвала выбираем золотник с электрогидравлическим управлением ЗСУ-5 У 4690. 4133, а для гидроцилиндра перемещения фотоприемного устройства золотник ЗСУ-5 У 4143 с параметрами (табл.4):

Таблица 4

Параметры золотников ЗСУ-5 У 4690 и ЗСУ-5 У 4143

Номинальный расход, л/мин	70,0	35,0
Номинальное давление, МПа	10	10
Потеря давления при номинальном расходе, МПа	0,3	0,3
Тип электромагнита	ЭМ-1,5	ЭМ-1,5
Масса, кг	15,2	15,2

Ручной гидрораспределитель для работы в ручном режиме применяю с трактора, тип Р150-13.

Выбираем дроссель с регулятором и предохранительным клапаном типа АТП55-15 с параметрами (табл.5):

Таблица 5

Параметры предохранительного клапана типа АТП55-15

Условный проход, мм	32
Номинальное давление, МПа	10
Давление разгрузки, МПа	0,3
Номинальный поток, л/мин	160
Масса, кг	8

Выбираем дроссели с обратными клапанами для гидроцилиндров отвала и гидроцилиндра ФПУ (табл.6):

Таблица 6

Параметры дросселя с обратным клапаном ФПУ

	Типоразмер	
	62600	62700
Условный проход, мм	16	20
Номинальный поток, л/мин	63	100
Давление, МПа Максимальное Номинальное	 35 32	 35 32
Масса, кг	1,1	1,9

Литература:

1. Системы управления строительными машинами / Каталог НАВГЕОКОМ, 2006. -97с.

2. Кононыхин Б.Д. Лазерные системы управления машинами дорожного строительства / Кононыхин Б.Д. -М.: Машиностроение, 1990. -281с.

3. Зеньков С.А., Кобзов Д.Ю., Курмашев Е.В. Стенд сдвиговый: пат. 2460989 Рос. Федерация; заявл. 28.09.2010; № заявки 2010139838/28, опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25.

4. Ломакин М. С. Автоматическое управление технологическими процессами карьеров. М., Недра, 1978. -280 с.

5. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин.М., Машиностроение, 1983.-240с.

6. Булгаков А.Г., Воробьев В.А., Евтушенко С.И., Паршин Д.Я. Автоматизация и роботизация строительства. М.:РИОР:ИНФА-М, 2013.-452с.

7. Патент на изобретение RU 2460989 C2, 10.09.2012. Заявка № 2010139838/28 от 28.09.2010 /С.А. Зеньков, Д.Ю. Кобзов, Е.В. Курмашев.

8. Авторское свидетельство SU 1310696 A1, 15.05.1987. Заявка № 3992052 от 12.12.1985 / В.И.Баловнев, Ю.П. Бакатин, С.А. Зеньков, С.В. Журавчук.

9. Zenkov S.A. Defining parameters of thermal exposure equipment for buckets of mine excavators // Всборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. – С. 022147.

10. Zenkov S.A., Kirichenko O.P., Mineev D.A. Reducing adhesion of soil to the earth-moving machines using piezoceramic transducers // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2017. – № 4. – С. 56–58.

11. Zenkov S.A., DryupinP.Yu. The use of a heating element to combat soil freezing to the working bodies of machines// Всборнике: Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 42080.

12. Zenkov S.A., Kobzov D.Y., Balahonov N.A. Modelling of dredging process with vibrating digging bucket under subzero temperatures// В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. С. 012100.

Use of laser control systems on a bulldozer

Zenkov S.A. [1, a], Mineev D.A.[1], Vysotsky E.S.[1], Revin D.V.[1]

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russian Federation
[a]mf@brstu.ru

Keywords: laser systems, control systems, bulldozer.

In this work, the analysis of the automatic position control system for the position of the working body of the bulldozer SAUL-1 was carried out. At present, the SAUL-1 system can be used in conjunction with angular position sensors and sensors that regulate engine loading and protect it from overloads. The use of laser control can significantly improve the quality of planning, and therefore the efficiency of work, reduce the cost of materials in the construction of roads, increase productivity and save fuel. Also, the advantage of using them is the ability to control several machines at once and simultaneously control the position of the working body of the machine along the transverse slope and in height (install a photodetector at both ends of the blade).

УДК 624.05

Особенности работы симметричного бетонолома

Зеньков С.А.[1],[a], Минеев Д.А.[1], Высоцкий Е.С.[1], Медведев С.Н.[1]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]mf@brstu.ru

Ключевые слова: симметричный бетонолом, геометрические параметры, разрушаемая конструкция.

В данной статье представлены результаты исследований по определению размеров отламываемых фрагментов изделий из бетона при изменении параметров подвергаемой разрушению конструкции в точках соприкосновения упора подвижной части симметричного бетонолома. Величина геометрического параметра «А» получена в результате численного анализа, методом прямой подстановки. Получены выражения, определяющие величину необходимого усилия для разрушения плиты определенных размеров.

Из существующих технических решений по разрушению бетонных контсрукций наиболее интересна конструкция симметричного бетонолома (рис.1) [1-11]. Симметричный бетонолом способен действовать с большой производительностью, на работах по разрушению как бетонных стен, так и сетчато-армированных металлическими стержнями, бетонных плит толщиной до 400 мм [1].

Принцип работы бетонолома состоит в разламывании бетона наложением на последний изгибающего момента. Процесс начинают от края плиты или с приямка, устраиваемого в заранее определенном месте. Бетонолом выполнен по симметричной схеме и может ломать конструкцию как от себя, так и на себя.

Для этого зуб заводится под плиту, сверху опускают упор, управляемый гидроцилиндром, размещенным внутри корпуса металлоконструкции. Упор, поворачиваясь вокруг собственной оси, закрепленной в стенках корпуса, опускается на плиту сверху и

создает на нее давление. Плита трескается и затем разрушается под действием изгибающего момента. Отделенная от конструкции часть плиты остается зажатой и таким образом переносится к месту временного складирования или транспортировки. Затем процесс повторяется вновь [1].

При работе симметричного бетонолома по данной схеме используется принцип захвата – к разрушаемой конструкции на некотором расстоянии, в точках касания рабочего оборудования, прикладываются две силы, действие которых направлено навстречу друг другу.

Приведем в качестве примера бетонную плиту, находящуюся в состоянии покоя на горизонтальной опорной поверхности: либо на однородной грунтовой, либо на бетонной плоскости (рис. 2). В данном случае необходимо учитывать воздействие на плиту сил P_1 и P_2, а так же распределенных нагрузок q_1 и q_2. Рассмотрим вышеназванные силы и их воздействие на разрушаемую конструкцию подробнее [2].

Сила P_1 возникает в месте заглубления зуба бетонолома под плиту, т.е. в точке касания выступа-зуба неподвижной части захвата с нижней плоскостью разрушаемой конструкции. Количественно сила P_1 будет представлять собой усилие, необходимое для разрушения плиты.

Сила P_2 возникает на верхней плоскости плиты в момент опирания на нее упора силовым гидроцилиндром бетонолома, т.е. в точке касания упора подвижной части захвата с разрушаемой конструкцией. Необходимо отметить, что действие силы P_2 происходит на некотором расстоянии «А» от точки действия силы P_1. Расстояние «А» до точки приложения силы P_2 определяется длиной плеча подвижной части захвата – упора, а так же толщиной “Н” строительной конструкции – бетонной плиты. Расстояние «А» во многом диктует дальнейший выбор геометрических параметров бетонолома в зависимости от необходимых характеристик его работы и производительности.

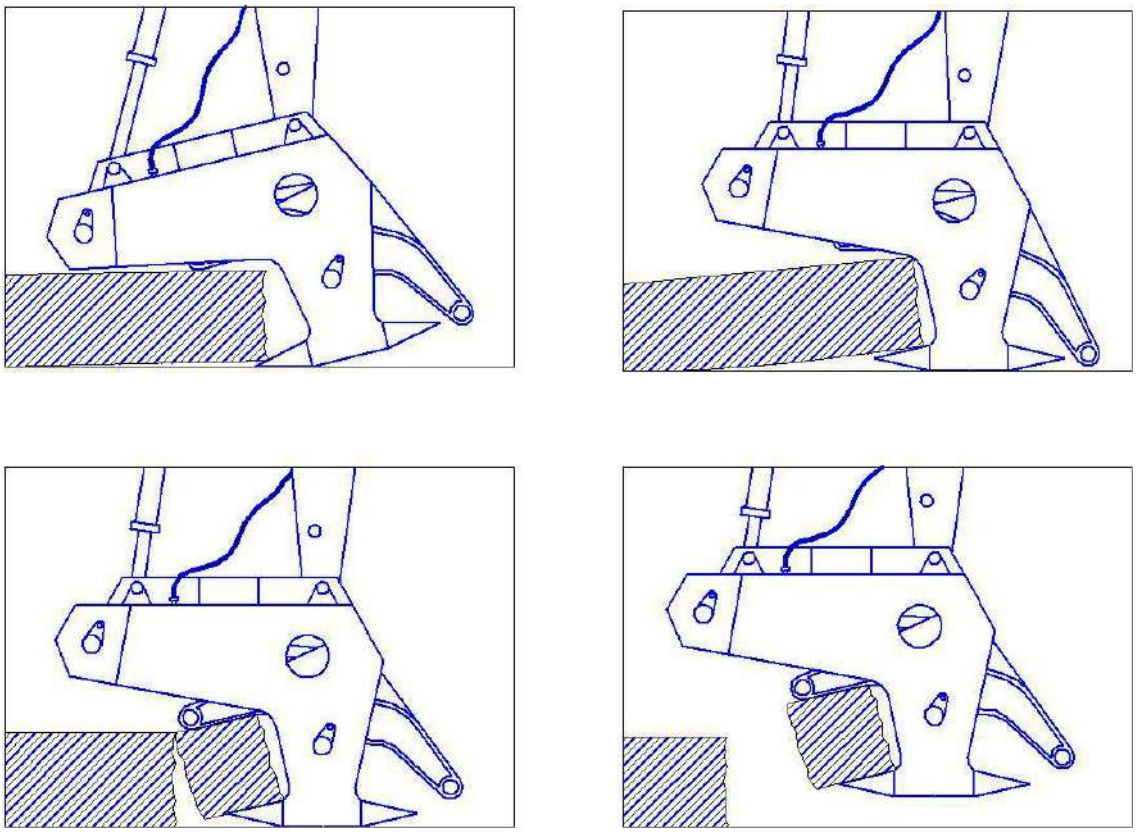


Рис. 1. Принцип действия симметричного бетонолома

Количественно сила P_2 представляет значение усилия, развиваемого силовым гидроцилиндром бетонолома, которое необходимо приложить для потери структурной целостности разрушаемой конструкции.

Кроме сосредоточенных нагрузок в рассматриваемой системе возникает распределенная нагрузка, которую можно разбить на две односторонне направленные распределенные силы.

На опорную поверхность (в данном случае это либо однородное грунтовое покрытие, либо бетонное основание) со стороны разрушаемой конструкции действует распределенная сила q_1. Рассматриваемая нагрузка численно равна распределенному по площади касания весу бетонной плиты.

При расчетах необходимо учитывать, что на бетонную плиту со стороны основания так же действует распределенная сила q_2, возникающая от присутствия сил трения покоя, которые превышают силы трения движения.

Распределенная сила q_2 не будет постоянной для различных вариантов системы: «строительная конструкция – основание», и будет зависеть от номинальной удельной силы отрыва покрытия от основания.

При работе рассматриваемого оборудования бетонолома по схеме – захват, когда к разрушаемой строительной конструкции силы приложены не в одном ее сечении, а в разных точках, известно, что максимальный изгибающий момент M_{max} будет действовать в точке приложения силы, максимально удаленной от края строительной конструкции. Таким образом, бетонная плита должна отламываться в месте опирания на нее подвижной части захвата - упора бетонолома. В этом случае расстояние X численно должно быть равно параметру «А»; X = A (рис. 2).

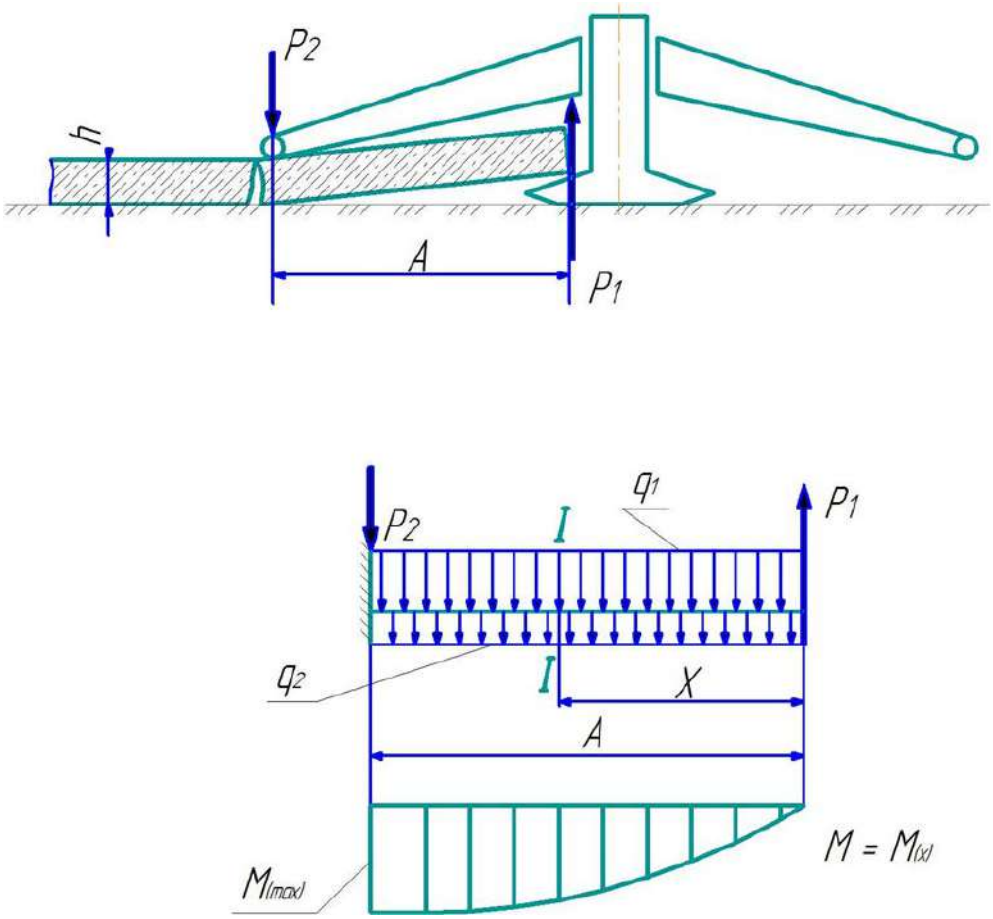


Рис.2. Схема работы симметричногобетонолома

Выразить величину «А» в зависимости от действующих на разрушаемую конструкцию сил и при заданных других характеристиках, можно воспользовавшись условием прочности бетонной плиты, которое в данном конкретном случае имеет вид уравнения:

$$\frac{M_{max}}{W} - \sigma_р = 0, \quad (1)$$

где $M_{мах}$ – максимальный изгибающий момент в бетонной плите.

Максимальный изгибающий момент в месте разрушения плиты будет равен действию сил относительно точки приложения силы P_2, таким образом:

$$M_{max} = P_1 \cdot A - \frac{q \cdot A^2}{2}, \quad (2)$$

тогда уравнение (1) примет вид:

$$\frac{P_1 \cdot A}{W} - \frac{q \cdot A^2}{2 \cdot W} - \sigma_р = 0, \quad (3)$$

умножив обе части уравнения (3) на дополнительный множитель $-\frac{2 \cdot W}{q}$,получим квадратное уравнение вида:

$$A^2 - \frac{2 \cdot P_1}{q} \cdot A + \frac{2 \cdot \sigma_р \cdot W}{q} = 0, \quad (4)$$

выполнив в данном уравнении замену параметров $q = B \cdot (H \cdot Y + C_п)$ и $W = \frac{B \cdot H^2}{6}$, получим:

$$A^2 - \frac{2 \cdot P_1}{B \cdot (H \cdot Y + C_п)} \cdot A + \frac{2 \cdot \sigma_р \cdot H^2}{3 \cdot (H \cdot Y + C_п)} = 0. \quad (5)$$

Решением квадратного уравнения будет выражение вида:

$$A_{1,2} = \frac{P_1}{B \cdot (H \cdot Y + C_п)} \pm \sqrt{\left(\frac{P_1}{B \cdot (H \cdot Y + C_п)}\right)^2 - \frac{\sigma_р \cdot H^2}{3 \cdot (H \cdot Y + C_п)}}. \quad (6)$$

Очевидно, один из корней квадратного уравнения (5) будет мнимым.

Окончательно выражение для определения геометрического параметра “А” будет получено в результате численного анализа, методом прямой подстановки.

Величина P_1 в выражении (6) является разрушающей нагрузкой при отламывании фрагмента бетонной плиты длиной “А” шириной “В” и толщиной “Н”. Количественно сила P_1 будет представлять собой усилие, необходимое для разрушения плиты.

Литература:

1. Камчатнов Л.П., Павлов В.В. Технология демонтажа наружных стеновых панелей. - Казань: Татарский ЦНТИ, 2000. -214 с.

2. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. - М.: Стройиздат, 1982. -196 с.

3. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Баев А.О., Дрюпин П.Ю. Определение мест установки электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 195-202.

4. Шарипов, Л. Ш. Конструксияхоиоханубетони (Железобетонные конструкции): Учебник в 3 кн. Кн. 1. / Л. Ш. Шарипов. - Душанбе: Адиб, 2012. – 420 с.

5. Зеньков С.А., Елохин А.В., Курмашев Е.В. К вопросу о применении ремонтно-восстановительных составов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам СДМ // Механики XXI веку. 2009. № 8. С. 159-161.

6. Патент на изобретение RU 2460989 C2, 10.09.2012. Заявка № 2010139838/28 от 28.09.2010 /С.А. Зеньков, Д.Ю. Кобзов, Е.В. Курмашев.

7. Авторское свидетельство SU 1310696 A1, 15.05.1987. Заявка № 3992052 от 12.12.1985 / В.И.Баловнев, Ю.П. Бакатин, С.А. Зеньков, С.В. Журавчук.

8. Zenkov S.A. Defining parameters of thermal exposure equipment for buckets of mine excavators // Всборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. – С. 022147.

9.Zenkov S.A., Kirichenko O.P., Mineev D.A. Reducing adhesion of soil to the earth-moving machines using piezoceramic transducers // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2017. – № 4. – С. 56–58.

10. Zenkov S.A., DryupinP.Yu. The use of a heating element to combat soil freezing to the working bodies of machines// Всборнике: Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 42080.

11. Zenkov S.A., Kobzov D.Y., Balahonov N.A. Modelling of dredging process with vibrating digging bucket under subzero temperatures// В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. С. 012100.

Features of the work of a symmetrical concrete breaker

Zenkov S.A.[1],[a], Mineev D.A.[1], Vysotsky E.S.[1], Medvedev S.N.[1]

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russian Federation
[a]mf@brstu.ru

Key words:symmetrical concrete breaker, geometric parameters, destructible structure.

This article presents the results of studies on determining the size of broken off fragments of concrete products when changing the parameters of the structure subjected to destruction at the contact points of the stop of the moving part of the symmetrical concrete breaker. The value of the geometric parameter «A» was obtained as a result of numerical analysis using the direct substitution method. Expressions are obtained that determine the amount of force required to destroy a slab of certain dimensions.

УДК 621.879

Определение эффективности применения силиконового пластинчатого нагревательного элемента для снижения намерзания грунта к землеройным машинам

Зеньков С.А.[1,a], Дрюпин П.Ю.[1], Бондалет И.С.[1], Ревин Д.В.[1]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]mf@brstu.ru

Ключевые слова: сдвиговое усилие, связный грунт, адгезионные силы, гибкий нагревательный элемент.

Намерзание влажной связной грунтовой породы на рабочие органы землеройных машин затрудняет выполнение землеройных работ в условиях отрицательной температуры окружающей среды. Как показывает практика, наиболее эффективным методом борьбы с намерзанием грунта является метод теплового воздействия. В данной работе рассмотрен силиконовый пластинчатый нагревательный элемент, который выступает в качестве источника тепла, при борьбе с намерзанием грунтовой породы к поверхностям рабочих органов землеройных машин. Этот нагревательный элемент от источника питания напряжением 220В обладает рядом качеств, которые способствуют его применению на рабочих органах: плотное и полное прилегание по всей площади контакта и равномерный нагрев; малый вес и толщина. В ходе проведения исследований, на специальном экспериментальном сдвиговом стенде было определено усилие сдвига грунта без теплового воздействия, и определены усилия при использовании нагревательного элемента. На основе полученных данных разработана математическая модель, которая описывает влияние различных (варьируемых) факторов на прочность примерзания грунтовой породы к поверхности рабочих органов. Определена эффективность применения нагревателя: сдвиговое усилие уменьшилось в 1,65…7,0 раза.

Введение. Одна из основных причин снижения производительности землеройных машин при их эксплуатации в северных условиях, является налипание, а в дальнейшим примерзание грунта к поверхностям рабочих органов машин. Снижение производительности происходит как из-за уменьшения полезного объема ковша, так и необходимости прерывания рабочего цикла машины для очистки ковша [1-11]. Очистка ковша затруднена тем, что возникшие адгезионные силы (силы, которые препятствуют разъединению двух разнародных фаз) в зоне контакта влажного грунта и рабочего органа, при отрицательной температуре, достигают максимальных значений [12-19].

Из множетсва способов очистки ковша, при намерзании грунта целесобразней и выгодней применять способ теплового воздействия на область контакта [5,7,8,11]. Под воздействием теплового излучения адгезионные силы снижаются. Это обусловлено тем, что цементационные связи льда снижаются или изчезают полностью.

Цель данного исследования – определить температруные характеристики предложенного нагревательного элемента и определить его эффективность применения при борьбе с намерзанием грунта.

Материалы и методы исследования. В данной работе источник тепла – силиконовый пластинчатый гибкий нагревательный элемент (рис. 1). Этот нагревательный элемент состоит из греющей высокорезистивной проволоки, которая изолирована кремнийорганическими соединениями. В качестве основных преимуществ данных пласти можно отметить большую степень гибкости и малую толщину. Эти технические особенности позволяют их применять в труднодоступных местах и на оборудовании, обладающем сложной формой.

Рис. 1. Силиконовый гибкий нагревательный элемент

Основные технические характеристики [2]: - напряжение питания, В – 220; мощность, удельная, Вт/см^2 – 0,8; рабочая температура, °С – 250; сопротивление изоляции, Вт/см^2 – 4; натяжение проволоки, Н – 15х15.

На лабораторной установке – сдвиговом стенде (рис. 2) проведено экспериментальное исследование по определению эффективности применения данной нагревательной пластины при борьбе с намерзанием грунтовой породы к рабочим органам землеройных машин [3, 10].

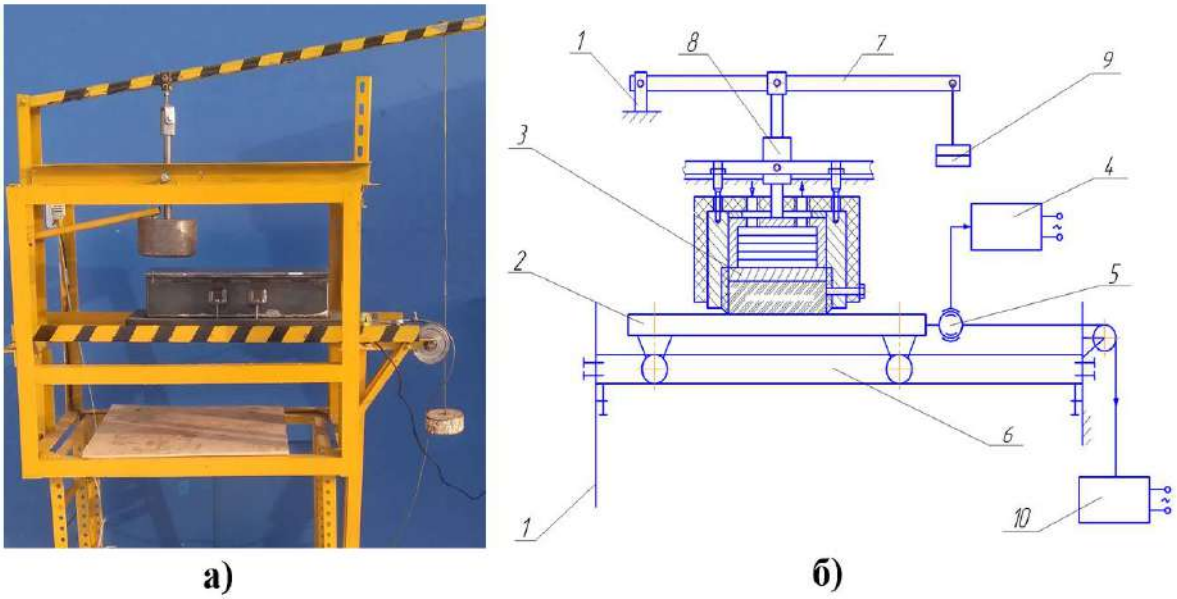


Рис. 2. Сдвиговой стенд:
а – лабораторная установка; б – принципиальная схема.
1 – рама; 2 – каретка; 3 – обойма; 4 – тензометрическая аппаратура;
5 – тензометрический датчик; 6 – направляющая; 7 – нагрузочный рычаг; 8 – втулка; 9 – груз;
10 – приводной механизм

Сдвиговой стенд позволяет определить сдвиговое усилие, которое возникает при взаимодействии грунта с имитатором ковша. В исследовании использовался грунт со следующими свойствами: грунт – глина; дисперсность грунта, $D=7\cdot10^{-3}$ мм; весовая влажность, W=12,5%. Время контакта имитатора ковша и грунта составляло $t_к$=10 мин.

Для проведения исследования принят план трехфакторной модели 3^3. При такой модели три рассматриваемых фактора варьируются на трех уровнях. К варьируемым факторам относятся: внешняя температура (x_1), °С; давление прижатия (x_2), кПа; время нагрева имитатора ковша (x_3), мин. Уровни варьирования, а также интервал варьирования получены на основе анализа априорной информации и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования

Варьируемые факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	1	
x_1 – температура окружающей среды, °С	-25	-15	-5	10
x_2 – давление прижатия, кПа	30	20	10	10
x_3 – продолжительность нагрева имитатора ковша, мин	7	5	3	2

Для того чтобы определить эффективность нагревательного элемента, необходимо определить сдвиговое усилие, которое возникает между грунтовой породой и имитатором ковша, когда на зону контакта не действует тепловое излучение, при различной внешней температуре и различном давлении прижатия и сравнить его со значениями сдвигового усилия при действии нагревательного элемента.

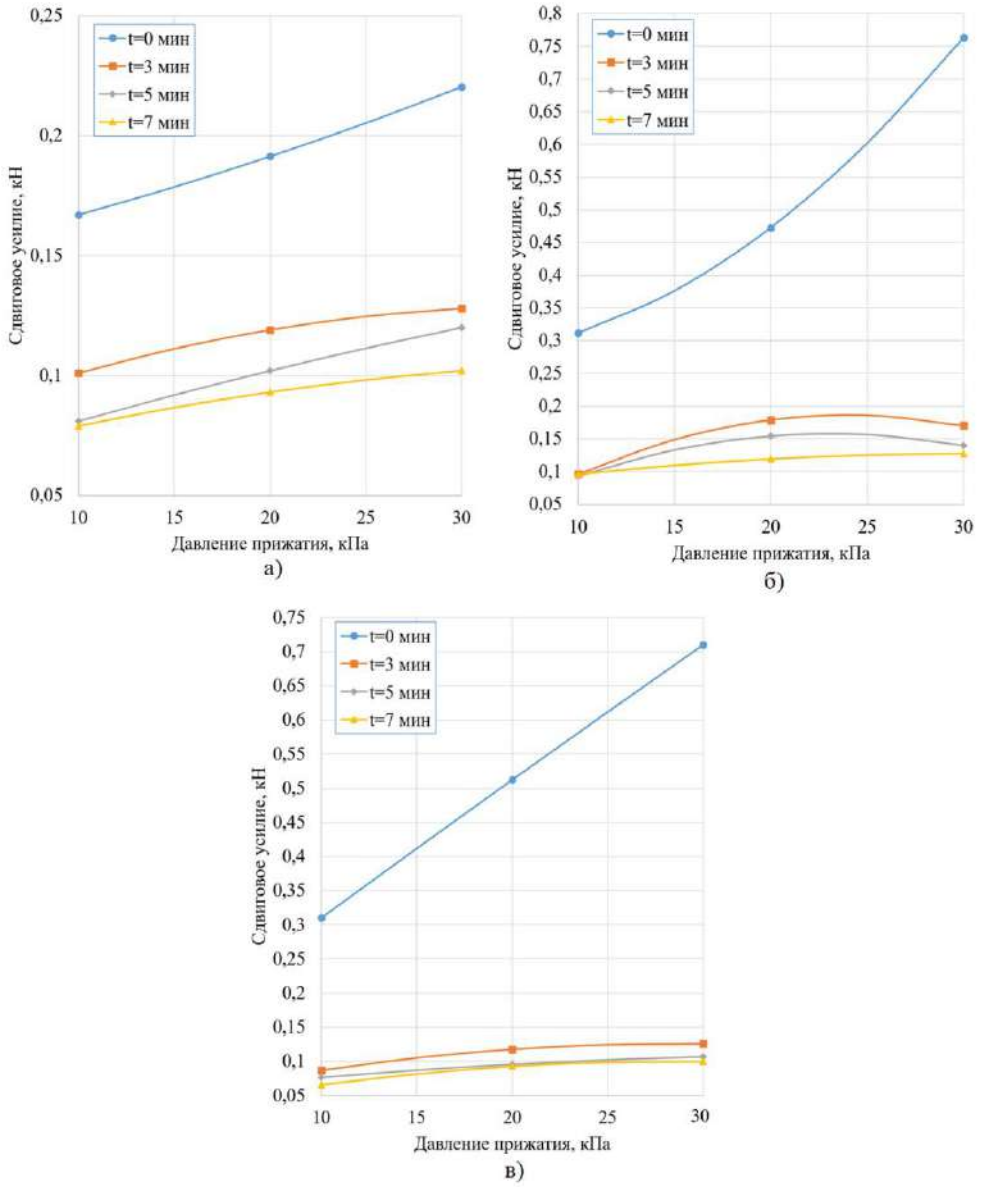


Рис. 3. Зависимость сдвигового усилия от давления прижатия:
а – при внешней температуре -5 ℃; б – при внешней температуре -15 ℃;
в – при внешней температуре -25 ℃

В результате проведения экспериментального исследования, по получению значений свигового усилия грунтовой породы с имитатора ковша при воздействии тепла на зону контакта были определены уравнения регрессии для данной нагревательной пластины.

Для рассмотренного нагревательного элемента построены графики зависимостей сдвигового усилия от давления прижатия, при различной внешней температуре (рис. 3). Данные графики наглядно отражают эффективность применения нагревательной пластины при различном времени нагрева.

Как видно из графиков, зависимость сдвиговое усилие от давления прижатия без

нагрева имитатора ковша носит прямопропорциональный характер – чем больше давление прижатия, тем выше сдвиговое усилие.

Выводы. Результаты проведенного экспериментального исследования позволяют сделать вывод о том, что применение данной силиконовой нагревательной пластины приводит к уменьшению сдвигового усилия.

Из графиков (рис. 3) видно, что при температуре окружающей среды -5 °С усилие сдвига снижается в 1,65…2,15 раза; при температуре окружающей среды -15 °С усилие сдвига снижается в 3,55…7,0 раза; а при температуре окружающей среды -25 °С усилие сдвига снижается в 2,71…6,03 раза.

Литература:

1. Гибкие поясные и плоские силиконовые нагреватели [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tvoy-nagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/.

2. Патент №2460989 РФ. Стенд сдвиговый / С.А. Зеньков, Д.Ю. Кобзов, Е.В. Курмашев. – Заявка №2010139838/28 от 28.09.2010; опубл. 10.09.2012, Бюл. №25.

3. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. М.: Машиностроение, 1992. 176 с.

4. Buturovich I, Kim Han Duc. Calculation curved concentrators, Trudy LPI, Vol. 309, 1969, 169 p.

5. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С. Эффективность гибких нагревательных элементов для борьбы с адгезей грунтов к землеройным машинам // Труды Братского гос.ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. 2013. Т.1. С. 134–137.

6. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics. A Ph.D. Dissertation, Jilin University of Technology, Changchun, China (in Chinese), 1993.

7. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С., Банщиков М.С. Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI веку. 2013. № 12. С. 228-232.

8. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Елохин А.В., Дэлэг Д. Перспективы применения гибких нагревательных ленточных элементов для снижения адгезии грунта к рабочим органам ковшового типа // Механики XXI веку. 2009. № 8. С. 164–167.

9. Патент №1310696 СССР. Сдвиговой стенд / В.И. Баловнев, Ю.П. Бакатин, С.А. Зеньков, С.В. Журавчук – Заявка №3992052 от 12.12.1985; опубл. 15.05.1987, Бюл. №18.

10. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics 36 (1999). P. 39–49.

11. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Баев А.О., Дрюпин П.Ю. Определение мест установки электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Труды Братского гос. ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 195–202.

12. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. Волгоград: Ofset. 2005. 51 с.

13. Sharma V.K., Drew L.O., Nelson L. Transactions of the ASAE 20. 1977. P. 46–51.

14. Tong J., Ren L., Yan J., Ma Y. and Chen B. 1999. Int. Agricultural Eng. J.8. 1999. P. 1–22.

15. Wang X.L., Ito N., Kito K. and Garcia P.P. 1998. J. of Terramech.35. 1998. P. 87–101.

16. Wang X.L., Ito N., Kito K. Study on reducing soil adhesion to machines by vibration. In: Proceedings of the 12th International Conference of ISTVS, 7-10 October, 1996 (Yu Q; Qiu L, eds). 1996. P. 539–545. China Machine Press, Beijing, China.

17. Azadegan B., Massah J. Effect of temperature on adgesion of clay soil to steel // CercetăriAgronomiceîn Moldova. Vol. XLV. 2012. № 2 (150). P. 21–27.

18. Chen B., Liu D., Ning S., Cong Q. Research on the reducing adhesion and scouring of soil of lugs by using unsmoothed surface electro-osmosis method // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, № 11 (3). 1995. P. 29–33.

19. Ignatyev K.A., Filonov A.S., Lkhanag D., Battseren I. Definitions of time from the surface soil breakout body work in a high impact // Scientific transactions. № 3/139. Ulaanbaatar, Mongolia, MUST. 2013. P. 144–146.

Determination of the effectiveness of the use of a silicone plate heating element to reduce soil freezing to earthmoving machines

Zenkov S.A.[1,a], Dryupin P. Yu.[1], Bondalet I.S.[1], Revin D.V.[1]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]mf@brstu.ru

Keywords: shear force, cohesive soil, adhesive forces, flexible heating element.

Freezing of wet cohesive soil rock on the working bodies of earth-moving machines, which makes it difficult to carry out excavation work in conditions of negative ambient temperature. As practice shows, the most effective method of dealing with soil freezing is the method of thermal exposure. In this paper, a silicone plate heating element is considered, which acts as a heat source in the fight against freezing of soil rock to the surfaces of the working bodies of earth-moving machines. This heating element from a 220V power supply has a number of qualities that contribute to its use on working bodies: tight and complete fit over the entire contact area and uniform heating; light weight and thickness. In the course of the research, on a special experimental shear stand, the soil shear force was determined without thermal exposure, and the forces when using a heating element were determined. Based on the data obtained, a mathematical model has been developed that describes the influence of various (variable) factors on the strength of soil rock freezing to the surface of working bodies. The efficiency of the heater application was determined: the shear force decreased by 1.65…7.0 times.

УДК 621.271

Модернизированная фрезерная машина для разработки сложноструктурных наклонных угольных пластов

Чебан А.Ю.[1,a]

[1]Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, ул. Тургенева 51, Хабаровск, Россия
[a] chebanay@mail.ru

Ключевые слова: угольный разрез, механическая выемка, фрезерный барабан, бульдозерный отвал, производительность.

В статье предлагается усовершенствованная конструкция фрезерной машины с комбинированным рабочим оборудованием для повышения селективности выемки полезных ископаемых из наклонных сложноструктурных пластов, сложенных плотными и полускальными породами. Комбинированное рабочее оборудование включает фрезерный барабан, располагающийся в передней части машины, и бульдозерный отвал, установленный на параллелограммной подвеске - в задней части. При разработке сложноструктурного пласта фрезерная машина двигается под уклон, осуществляя послойное фрезерование полезного ископаемого или породного пропластка, одновременно опускается бульдозерный отвал, которым разрыхленная горная масса перемещается под уклон к месту штабелирования. Совмещение процессов рыхления и транспортировки горной массы за счет

повышения силы тяги базовой машины, движущейся под уклон, обеспечивает существенное повышение производительности оборудования и снижение себестоимости работ.

Введение. В настоящее время наблюдается тенденция к снижению качества запасов многих видов минерального сырья, при этом усложняются горнотехнические и горно-геологические условия разработки месторождений [1-4]. Россия является одним из мировых лидеров по добыче и экспорту угля, в связи с высокими требованиями к качеству угля, направляемого на экспорт, необходимо при выемке обеспечить минимальное разубоживание полезного ископаемого пустыми породами. Уменьшение перемешивания угля с породными пропластками и вмещающими породами достигается за счет применения технологических схем, обеспечивающих углубление селекции, однако зачастую это ведет к снижению производительности горного оборудования и увеличению себестоимости работ. Обеспечение повышения производительности с сохранением необходимого качества добываемого полезного ископаемого требует разработки новых технических и технологических решений с учетом принципов рационального сочетания процессов горных работ [5-8].

Состояние вопроса. Применение при разработке сложноструктурных угольных месторождений традиционных технологий, включающих взрывное рыхление с последующей выемкой разрыхленной горной массы крупными одноковшовыми экскаваторами, приводит к перемешиванию угля с пустыми породами пропластков, что ведет к дополнительным затратам при его обогащении [9-10]. Совершенствование горного оборудования и способов его применения во многих случаях позволяет вести разработку объектов в сложных горно-геологических условиях с приемлемым уровнем экономической эффективности [11-12]. Развитие технических средств выемки во многих случаях позволяет отказаться от проведения взрывного рыхления и осуществлять полностью механизированную разработку сложноструктурных массивов, сложенных плотными и полускальными породами, с применением бульдозерно-рыхлительных агрегатов, одноковшовых экскаваторов со специальными рабочими органами и другого оборудования [13-14]. Все более широкое распространение при разработке месторождений угля, фосфоритов, апатитов, известняков и других полезных ископаемых получают машины послойного фрезерования – карьерные комбайны и фрезерные машины [15-17], которые выполняют рыхление относительно прочных пород с высокой производительностью тонкими слоями мощностью от 0,1м, что обеспечивает качественную селективную выемку полезных ископаемых из сложноструктурных пластов. Необходимо отметить, что при разработке наклонных пластов с углами падения более 15^{o} совместная работа карьерных комбайнов с автосамосвалами невозможна, из условий устойчивости и перераспределения нагрузок на оси колесных транспортных средств [18]. При этом гусеничные машины могут работать на продольных уклонах до 25^{o}, что существенно расширяет область их применения в сравнении колесной техникой. Таким образом, при разработке наклонных пластов целесообразнее использовать более дешевые и мобильные фрезерные машины, полученная после которых разрыхленная горная масса может быть перемещена под откос бульдозером, однако применение комплекта из двух типов машин повышает себестоимость ведения добычи.

Для совмещения функций по рыхлению горной массы и ее штабелированию возможно оснащение фрезерной машины дополнительным оборудованием в виде бульдозерного отвала. Известна конструкция машины послойного фрезерования ДП-31АХЛ в передней части, которой расположен бульдозерный отвал, а в задней части – фреза [19]. Таким образом, при разработке горизонтальных и пологих пластов ДП-31АХЛ в одном направлении движения может осуществлять рыхление горных пород, а после разворота, двигаясь в противоположном направлении, бульдозерным отвалом вести выемку и транспортировку разрыхленной ранее горной массы. Однако при разработке наклонных

пластов машина ДП-31АХЛ не сможет выполнять рабочий ход с осуществлением рыхления или транспортировки пород при движении на подъем из-за недостатка силы тяги.

Целью работы является совершенствование конструкции фрезерной машины обеспечивающее повышение ее производительности при разработке сложноструктурных наклонных пластов за счет совмещения процессов рыхления и транспортировки горной массы при движении под уклон.

Результаты исследований и их обсуждение. Институтом горного дела ДВО РАН разработана конструктивная схема модернизированной фрезерной машины, предназначенной для рыхления и выемки тонких породных пропластков сложноструктурных наклонных пластов. В отличии от прототипа (машина послойного фрезерования ДП-31АХЛ) в предлагаемой конструкции фрезерный барабан 1 установлен в передней части гусеничной базовой машины 2, а бульдозерный отвал 3 – в задней части (рис.1). Подъем-опускание фрезерного барабана 1 осуществляется посредством подвижной каретки 4, перемещающейся с помощью гидроцилиндра 5 в направляющих 6. Бульдозерный отвал 3, с увеличенной за счет боковых стенок 7 вместимостью, через тяговую раму 8 крепится к параллелограммной подвеске 9.

При разработке сложноструктурного наклонного пласта 10 содержащего тонкие пропластки 11 пустых пород и полезное ископаемое 12 модернизированная фрезерная машина начинает отработку верхней части пласта 10 при движении под уклон. Посредством каретки 4 опускается фрезерный барабан 1, осуществляющий рыхление пород пропластка 11, одновременно за счет параллелограммной подвески 9 опускается бульдозерный отвал 3, который перемещает разрыхленную породу под уклон с образованием призмы волочения 13. Значительный продольный уклон обеспечивает необходимую силу тяги гусеничной базовой машины 2 для одновременного выполнения процессов рыхления и транспортирования породы. Рыхление и перемещение горной массы осуществляется до подошвы 14 подуступа, после чего фрезерный барабан 1 и бульдозерный отвал 3 поднимаются. При этом бульдозерный отвал 3 проходит поверх сформированной призмы волочения 13, после чего осуществляется движение модернизированной фрезерной машины холостым ходом на подъем. Бульдозерный отвала 3 увеличенной вместимости позволяет перемещать объем разрыхленной горной массы тонкого пропластка 11 мощностью 0,10…0,15м, набираемый при рабочем ходе равном 20…25м.

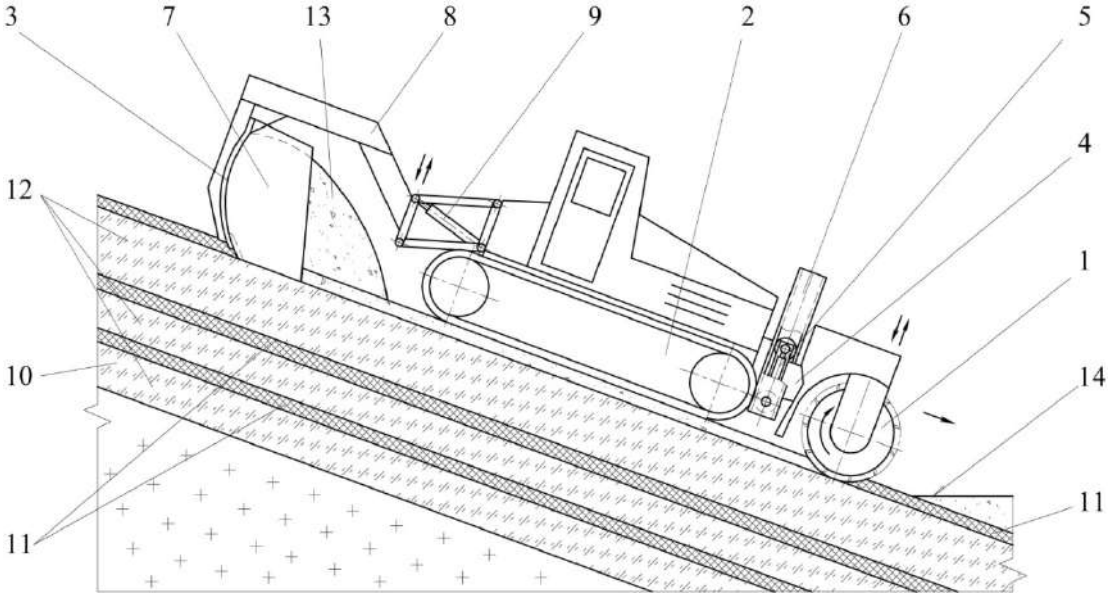


Рис. 1. Модернизированная фрезерная машина на разработке сложноструктурного наклонного пласта

Затем рабочий цикл повторяется с фрезерованием следующей полосы тонкого пропластка 11. Разрыхленная горная масса призмы волочения 13, оставленная у подошвы 14 подуступа, грузится в автосамосвалы. Выемка полезного ископаемого 12 осуществляется аналогичным образом за несколько проходов, либо с применением бульдозерно-рыхлительного агрегата.

Выводы. Фрезерная машина предлагаемой конструкции обеспечивает одновременное выполнение процессов рыхления и транспортировки горной массы за счет повышения силы тяги гусеничного трактора при движении под уклон 15…25^{o}. Совмещение двух технологических процессов позволяет значительно увеличить производительности горного оборудования и снизить себестоимость работ. Применение фрезерной машины позволяет вести качественную селективную выемку тонких породных пропластков, что уменьшит засорение полезного ископаемого пустыми породами.

Литература:

1. Jain R.K., Cui Z., Domen J.K. Environmental impact of mining and mineral processing, Butterworth-Heinemann. 2016. 307 p.

2. M. Rasskazov, A. Gladyr, A. Tereshkin, A. Rasskazova, D. Tsoy, A. Konstantinov The research of burst hazard of the rocks massif of Rasvumchorr mineral deposit according to seismoacoustic monitoring // E3S Web of Conferences. 2019. №129, 01022.

3. Чебан А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // Записки горного института. 2015. Т. 214. С. 23-27.

4. Секисов А. Г., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: сб. науч. ст. – Новосибирск, 2012. – С. 125-132.

5. Чебан А.Ю. Способ добычных работ для малых угольных разрезов с применением усовершенствованного карьерного комбайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №2. С. 36-42.

6. Riazi M.R., Gupta R. Coal Production and Processing, Technology Taylor & Francis Group, LLC, 2016, 535 p.

7. Чебан А.Ю., Хрунина Н.П. Техника и технологии разработки угольных разрезов Приамурья и перспективы их развития // Маркшейдерия и недропользование. 2015. №1. С. 19-21.

8. Демченко И.И., Муленкова А.О. Технико-экономическое обоснование получение сортового угля в забое Балахтинского разреза Красноярского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №1. С. 36-47.

9. Ермаков С.А., Иль А.П., Хосоев Д.В. Оценка эффективности применения комбайнов Wirtgen на Эльгинском каменноугольном месторождении // Горная промышленность. 2018. №6. С. 77-79.

10. Чебан А.Ю., Рассказов И.Ю., Литвинцев В.С. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области // Маркшейдерия и недропользование. 2012. №2 (58). С. 41-50.

11. Панкевич Ю.Б. Влияние технологических особенностей горного производства на технико-экономическую оценку месторождений полезных ископаемых // Рациональное освоение недр. 2014. №3. С. 42-50.

12. Чебан А.Ю. Техническое оснащение предприятий по добыче нерудных строительных материалов в Хабаровском крае // Механизация строительства. 2017. №2. С. 23-26.

13. Бурцев С.В., Левченко Я.В., Таланин В.В., Ворошилин К.С. Безвзрывные технологии подготовки скальных горных пород к перемещению конвейерным транспортом // Уголь. 2018. №10. С. 8-17.

14. Чебан А.Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. №9. С. 20-23.

15. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №1. С. 20-22.

16. Фирзен А.П. Vermeer T 1255TL – универсальные машины для выполнения вскрышных и добычных работ в карьерах // Горная промышленность. 2012. № 3. С. 56-57.

17. Чебан А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов // Недропользование XXI век. 2015. №5 (55). С. 64-69.

18. Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Фурин В.О. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2011. №9. С. 2-10.

19. Дорожные машины: Отраслевой каталог. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1987. 510 с.

Upgraded milling machine for the development of complex structure inclined coal seams

Cheban A.Yu.[1,a]

[1]Mining Institute the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenev st., Habarovsk, 680000, Russian Federation
[a] chebanay@mail.ru

Keywords: coal cut, mechanical excavation, milling drum, bulldozer blade, productivity.

The article proposes an improved design of a milling machine with combined working equipment to increase the selectivity of extracting minerals from inclined, complex-structural seams composed of dense and semi-rocky rocks. The combined working equipment includes a milling drum located at the front of the machine and a bulldozer blade mounted on a parallelogram suspension at the rear. When developing a complex-structural seam, the milling machine moves downhill, carrying out layer-by-layer milling of a mineral or rock interlayer, at the same time a bulldozer blade is lowered, with which the loosened rock mass moves down the slope to the stacking site. The combination of the processes of loosening and transporting the rock mass by increasing the traction force of the base machine moving downhill provides a significant increase in equipment productivity and a reduction in the cost of work.

УДК 621.271

Горный комбайн с комбинированным оборудованием для выемки тонких рудных жил

Чебан А.Ю.[1,a]

[1]Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, ул. Тургенева 51, Хабаровск, Россия
[a] chebanay@mail.ru

Ключевые слова: ценное минеральное сырье, селективная выемка, дисковая фреза, гидромолот, рудная масса.

При разработке месторождений благородных и цветных металлов в некоторых случаях промышленный интерес могут представлять тонкие рудные жилы мощностью первые десятки сантиметров. В статье предлагается конструкция комбайна для глубокоселективной выемки тонких рудных жил, локализованных в легко разрабатываемых скальных породах, с применением комбинированного оборудования, включающего дисковую фрезу и гидромолот. Дисковой фрезой производится опережающая выемка ценного

минерального сырья тонкой рудной жилы с формированием вруба, а гидромолотом, расположенным на поворотной стреле, осуществляется процесс последующего скалывания вмещающих пород. Предлагаемое технико-технологическое решение позволяет максимально сохранить исходные качественные характеристики полезного ископаемого при локальной отработке богатой зоны, а также обеспечивает значительное снижение энергоемкости механической выемки за счет создания вруба.

Введение. В настоящее время развитие технологических и технических решений в области добычи минеральных ресурсов направлено на обеспечение ресурсосбережения, которое достигается за счет снижения потерь полезного ископаемого в недрах, уменьшения его разубоживания и увеличения извлечения полезного компонента при последующем обогащении рудной массы [1-3]. В связи с усложнением горно-геологических условий отработки и снижением качества запасов месторождений цветных и благородных металлов, а также существенным увеличением стоимости металлов, в отработку вовлекаются тонкие рудные жилы [4-5]. На некоторых золоторудных месторождениях существенная доля запасов содержится в тонких жилах, так на месторождениях Дарасунского рудного поля до 85% запасов сосредоточены в жилах мощностью 0,15-0,4м [4], при этом в некоторых случаях при добыче руды с относительно высоким содержанием золота промышленный интерес могут представлять жилы мощностью менее 0,1м [6]. Применение взрывного рыхления массива при разработки рудных жил малой мощности ведет к значительному разубоживанию руды, в связи с чем, появляется необходимость разработки технико-технологических решений обеспечивающих глубокоселективную выемку таких запасов [7-9].

Состояние вопроса и постановка проблемы. Наиболее качественную селекцию обеспечивают технологии с применением механических средств рыхления и выемки минерального сырья с использованием горных комбайнов различных конструкций, фрезерных машин, буровых агрегатов и другого оборудования [10-17]. Кроме того, безвзрывные технологии добычи обеспечивают возможность ведения непрерывного контроля качества отбиваемой руды, повышают безопасность горных работ и уменьшают негативное экологическое воздействие на окружающую среду [18].

Известны технологии разработки тонких рудных жил с применением выбуривания и последующего взрывания с опережающей механической выемкой богатых руд и одновременным формированием компенсационных полостей для взрывной отбойки оставшегося массива [11]. Для подземной разработки участков жильных месторождений с зонами окисления богатых сульфидных руд (с прочностью на сжатие до 40-50МПа) предлагается устройство для разработки тонких пластов ценных минералов, включающее приводные станции и бесконечную тяговую цепь с режущими инструментами, посредством которой производится выпиливание тонкого пласта [13]. Горными комбайнами оснащенными фрезерными исполнительными органами может осуществляться выемка рудных жил мощностью более 0,8-1,0м с прочностью на сжатие до 60-100МПа и более [19]. Ударные рабочие органы с пневматическим, гидравлическим или электрическим приводом позволяют успешно рыхлить хрупкие горные породы, данное оборудование успешно применялось при разработке месторождений угля, бокситов, свинцово-цинковых руд и других полезных ископаемых с прочностью на сжатие 60-120МПа [20-21]. В работе [14] предлагается технико-технологическое решение, сочетающее фрезерование и разрушение ударом, для повышения эффективности процесса разработки забоев сложного строения, содержащих прочные породные пропластки. Так при разработке угольного месторождения смешанным забоем, включающим в нижней части тонкий пласт угля, а в верхней части – вмещающие породы большей прочности, первоначально посредством фрезы в нижней части забоя образуется вруб на глубину подачи, после чего осуществляется отбойка вмещающих пород с применением гидромолота. Известна конструкция выемочной машины флангового

действия для отработки угольных пластов с режущим и ударным рабочими органами одновременно участвующими в работе. Для уменьшения выхода штыба основной объем угля отбивается двумя ударными исполнительными устройствами, а режущий исполнительный орган обеспечивает последовательную отработку верхней и нижней угловых зон забоя. Недостатками выемочных машин, представленных в работах [14, 21], является невозможность селективной выемки рудных тел мощностью первые десятки сантиметров, а также отсутствие возможности одновременной погрузки разных типов отбиваемой горной массы, что снижает производительность оборудования.

Целью исследования является разработка конструкции горного комбайна с комбинированным оборудованием для селективной выемки тонких рудных жил мощностью менее 0,1-0,2м, локализованных в легко разрабатываемых скальных породах, с возможностью одновременного приема и аккумулирования горной массы разных типов, отбиваемой фрезерным и ударным рабочими органами.

Результаты исследований и их обсуждение. Автором предлагается конструкция горного комбайна, предназначенного для глубокоселективной выемки ценного минерального сырья, сосредоточенного в тонких крутопадающих рудных жилах мощностью до 0,1-0,2м локализованных в легко разрушаемых скальных вмещающих породах. Горный комбайн оснащен дисковой фрезой 1, гидромолотом 2 на поворотной стреле 3, подвижной рамой 4 с бункерами 5 и 6, соответственно, для рудной массы и вмещающих пород, а также силовой установкой 7, смонтированной на гусеничной ходовой части 8.

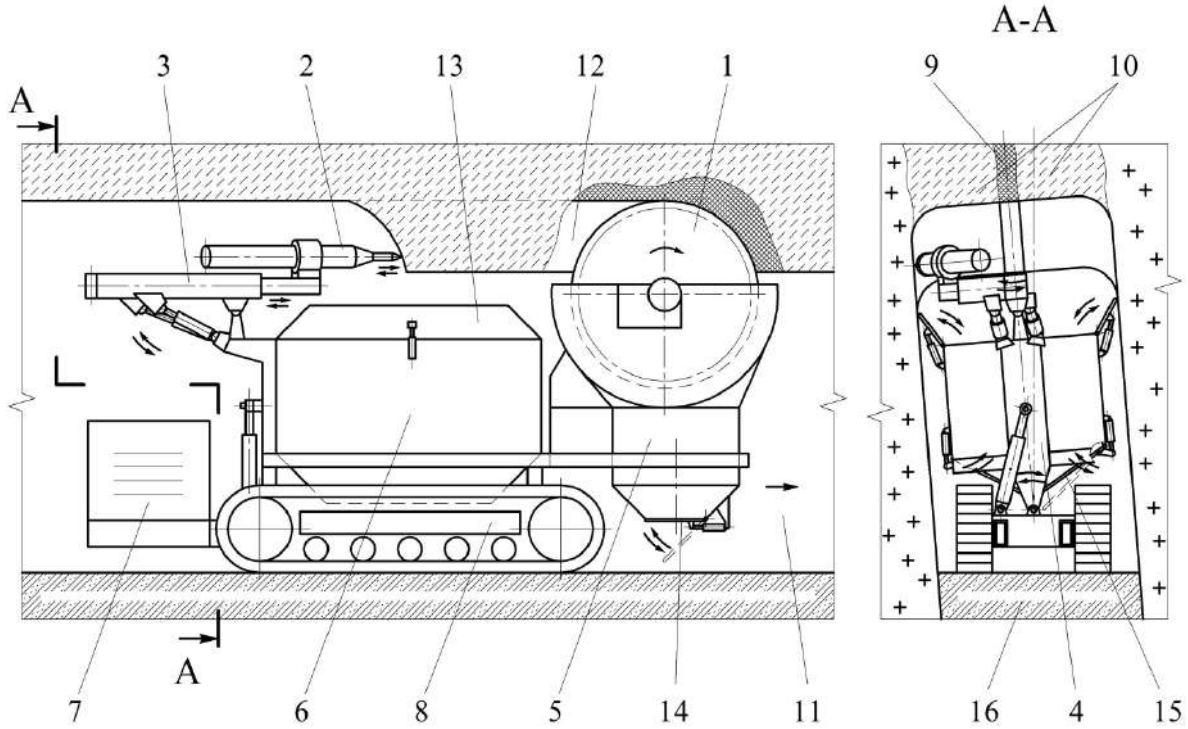


Рис. 1. Схема горного комбайна с комбинированным рабочим оборудованием

Отработка тонкой рудной жилы 9 ведется с восходящей слоевой селективной выемкой и породной закладкой. Перед началом отбойки подвижная рама 4 горного комбайна ориентируются с учетом угла падения тонкой рудной жилы 9. Фрезерование рудной жилы 9 и отбойка вмещающих пород 10 гидромолотом 2 осуществляется одновременного при поступательном движении горного комбайна вдоль выработки 11. Дисковой фрезой 1 производится рыхление тонкой рудной жилы 9 и формирование вруба 12, при этом полученная богатая рудная масса ссыпается в бункер 5. Наличие вруба 12 с двумя дополнительными обнаженными поверхностями значительно облегчает процесс последующей отбойки вмещающих пород 10 гидромолотом 2. Отбитые вмещающие породы

ссыпаются в бункер 6, оборудованный поворотными бортами 13 для исключения просыпания горной массы. После заполнения бункеров 5 и 6 рудной массой и вмещающими породами производится их разгрузка через поворотные днища 14 и 15.

Добытая рудная масса поднимается на поверхность для переработки на фабрике, а вмещающие породы используются для закладки выработанного пространства 16.

Выводы. Горный комбайн предлагаемой конструкции позволяет вести селективную разработку тонких рудных жил. Опережающее фрезерование тонкой рудной жилы позволяет существенно увеличить глубину селекции и максимально сохранить исходные качественные характеристики полезного ископаемого. Комбинация режущего и ударного разрушения горных пород с образованием вруба позволяет существенно снизить энергоемкость выемки при разработке сложноструктурного массива.

Литература:

1. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.

2. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: сб. науч. ст. – Новосибирск, 2012. С. 125-132.

3. Секисов Г.В., Чебан А.Ю. Малоотходная технология освоения сложноструктурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. №6. С. 110-118.

4. Рогизный В.Ф., Хромов В.М. Селективная выемка маломощных рудных тел с применением малогабаритного самоходного оборудования // Рациональное освоение недр. 2019. №2-3. С. 88-98.

5. Чебан А.Ю. Совершенствование геотехнологии выемки тонких рудных тел с применением стрелового комбайна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. №1. С. 340-348.

6. Гораш Ю.Ю. Развитие золотодобычи на Дарасунском руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. №11. С. 154-156.

7. Чебан А.Ю. Совершенствование безвзрывных циклично-поточных технологий добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 5-9.

8. Jain R.K., Cui Z., Domen J.K. Environmental impact of mining and mineral processing, Butterworth-Heinemann. 2016. 307 p.

9. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.

10. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №1. С. 20-22.

11. Михайлов Ю.В., Васильев А.Е., Горный С.В. Подготовка рудного тела к выемке полезного ископаемого комбинированным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 8. С.114-116

12. Чебан А.Ю. Применение фрезерных комбайнов в строительстве и на добыче строительных материалов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. №3. С. 105-108.

13. Авторское свидетельство СССР № 1493781, E21C 27/32, E21C 41/06 Устройство для разработки тонких пластов ценного минерала.

14. Лабутин В.Н. Применение комбинированного способа разрушения горных пород при проведении выработок смешанным забоем // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т.3. №2. С. 108-113.

15. Чебан А.Ю. Техническое оснащение предприятий по добыче нерудных строительных материалов в Хабаровском крае // Механизация строительства. 2017. №2. С. 23-26.

16. Mohd Im. Variation of production with time, cutting tool and fuel consumption of surface miner 2200 SM 3.8 // International Journal of Technical Research and Applications, 2016, no 1, pp. 224–226.

17. Чебан А.Ю. Скрепер с комбинированной интенсификацией загрузки ковша // Механизация строительства. 2015. №4. С. 4-6.

18. Едыгенов Е.К., Васин К.А. Результаты испытаний электромагнитного молота для безвзрывного разрушения горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. №5. С. 80-90.

19. Чебан А.Ю. Экспериментальные исследования процесса разрушения породы резцами фрезерного рабочего органа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. №1. С. 125-128.

20. Ocak I., Seker S.E., Rostami J. Performance prediction of impact hammer using ensemble machine learning techniques // Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, Vol. 80, pp. 269-276.

21. Лабутин В.Н. Выемка маломощных угольных пластов комбинированным способом разрушения // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т.2. №4. С. 138-145.

Mining machine with combined equipment for excavation of thin ore bodies

Cheban A.Yu.[1,a]

[1]Mining Institute the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenev st., Habarovsk, 680000, Russian Federation
[a] chebanay@mail.ru

Keywords: valuable mineral raw materials, selective mining, disc cutter, hydraulic hammer, ore mass.

In the development of deposits of precious and non-ferrous metals, in some cases, thin ore veins with a thickness of a few tens of centimeters may be of industrial interest. The article proposes the design of a combine for highly selective mining of thin ore veins localized in easily mined rocks, using combined equipment, including a disk cutter and a hydraulic hammer. The disk cutter performs advanced extraction of valuable mineral raw materials of a thin ore vein with the formation of a cut, and a hydraulic hammer located on a rotary boom performs the process of subsequent chipping of the host rocks. The proposed technical and technological solution makes it possible to preserve the original qualitative characteristics of valuable mineral raw materials as much as possible during local mining of a rich zone, and also provides a significant reduction in the energy intensity of mechanical excavation due to the creation of a cut.

УДК 681.586.728

Расширение функциональных возможностей лабораторного стенда ГПС-01

Ереско А. С.[1,a], Терсков Д.Ю.[1,b], Ереско С.П.[1,c]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
[a]eresko07@mail.ru

Ключевые слова: электромеханический привод, модернизация, расширение, лазерный дальномер, VL53L0X, arduino с OLED дисплеем, учебно-демонстрационная установка, микроконтроллер.

Приведены результаты модернизации и расширения функциональных возможностей за счет введения в базовую конструкцию стенда для моделирования и исследования

гидропневмосистем исполнительного элемента в виде электромеханического привода, а также приведены результаты модернизации измерительной системы стенда введением в измерительную систему лазерного дальномера с OLED дисплеем, выполненного на платформе модуля Arduino Nano v.3.0 для совершенствования системы измерений учебно-демонстрационной установки ГПС-01.

Задача исследования состоит в модернизации и расширении функциональных возможностей стенда для исследования гидропневмоприводов (ГПС – 01) введением в конструкцию стенда электромеханических приводов при одновременном совершенствовании измерительной системы стенда, введением дополнительных устройств измерения, что позволяет повысить точность измерений и автоматизировать процесс записи результатов для последующей обработки при изменении нагрузочного режима приводов, с целью проведения в том числе и сравнительного анализа различных приводов произвольной структуры и физической природы.

В базовый набор учебно-демонстрационной установки ГПС-01 «Гидравлические и пневматические системы и средства автоматики» включает в себя ограниченный набор сменных гидравлических и пневматических элементов устройств (магистрали, распределители ручного и автоматического действия, гидравлический мотор, пневматический цилиндр и др). Однако, для комплексного изучения приводов, включая электромеханический привод в соответствии с разработанным доцентом кафедры «Основы конструирования машин» Ереско Александром Сергеевичем авторского курса магистратуры «Электрогидропневмоприводы» была реализована в магистерской диссертации Терскова Д.Ю. идея расширения функциональных возможностей лабораторного стенда ГПС-01 введением в ее конструкцию дополнительного спроектированного электромеханического привода и измерительной системы в виде лазерного дальномера на платформе Adruino.
Общий вид лазерный дальномер с сенсорным лазерным датчиком VL53L0X и OLED дисплеем монтажной плате.

Рис.1 Общий вид панели пневматической системы учебного стенда ГПС-01

Учебный лабораторный стенд ГПС-01 позволяет моделировать различные гидравлические и пневматические системы.

Для изучения приводов и систем установка оснащена набором сменных гидравлических и пневматических аппаратов и устройств, а также автономным пневматическим источником энергии- компрессором и гидронасосом. Для изучения программируемых логических контроллеров установка оснащена комплексом средств автоматизированного управления, состоящим из контроллера и набора устройств электрического управления и путевых переключателей. В качестве объекта управления

используются пневматические исполнительные механизмы и соответственно пневматические распределители с электронным управлением. Условия эксплуатации установки – в помещениях при температурах от плюс 10 до плюс 35 ℃ и относительной влажности 80 % при 25℃.

Для выполнения практических и лабораторных работ на базе установки не хватает демонстрационных возможностей системы, так же на стенде ГПС-01 нет точной измерительной системы, измерения перемещений выходных звеньев исполнительных механизмов.

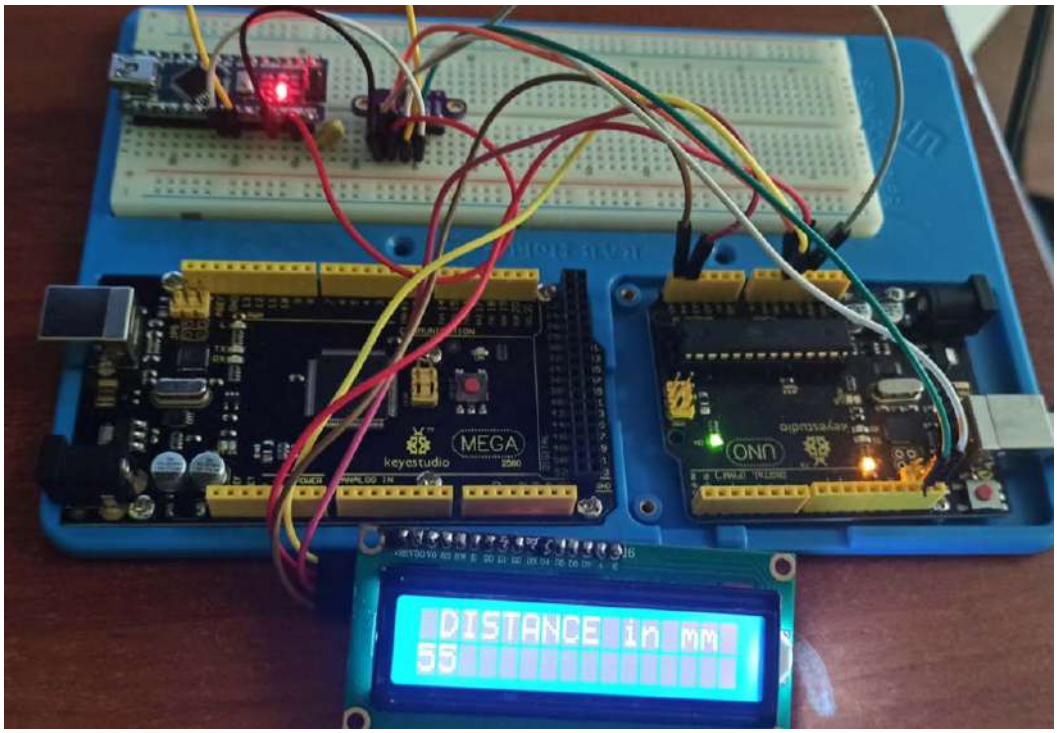


Рис.2 Лазерный дальномер с сенсорным лазерным датчиком VL53L0X и OLED дисплеем на монтажной плате

В результате проведённых работ на кафедре «Основы конструирования машин» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий» имени академика М.Ф. Решетнева в лаборатории С-224 была произведена модернизация измерительной системы лабораторного стенда ГПС-01, путем введения в состав стенда новой измерительной системы, включающей в себя: лазерный дальномер с OLED дисплеем, который считывает выдвижения штока пневматического цилиндра или электропривода на определенное расстояние от 0 до 200 мм., в целях расширения возможностей изучения гидравлическойсистемы (Рис.1)., а также элементов и возможностей системы ADRUINO.

Нами был выполнен проект и изготовлен опытный образец датчика измерения расстояния считывающий показания расстояния в системе стенда в реальном времени. Система измерения состоит из корпуса с жестко закрепленной в нем платы Arduino UNO R3 и датчиком лазерного дальномера VL53L0X, LCD-дисплей 1306. (Рис.3).

На учебно-демонстрационной установке ГПС-01 устанавливается гидро, пневмо или электропривод. Датчик лазерного дальномера направляется на шток исследуемого объекта. Программа для Arduino считывает показания датчика лазерного дальномера расстояние и время исследуемого объекта.

Разработанный лазерный дальномер с использованием Arduino может использоваться на испытательных стендах для выявления скорости и перемещений элементов стенда или

исполнительных устройств возвратно поступательного действия, или параметров перемещений всего объекта.

Работа датчика на основе сенсора VL53L0X базируется на использовании переходных процессов в высокочувствительных однофотонных лавинных диодах. Принцип работы основан на запатентованной STMicroelectronics технологии FlightSense. Поверхностно-излучающий лазер VCSEL с длиной волны 940 нм, выполняет в датчике расстояния VL53L0X роль источника оптического сигнала. Он оснащен встроенным инфракрасным фильтром. Его свечение полностью невидимо для человеческого глаза, и обеспечивает большую дистанцию измерения при меньшей чувствительности к уровню внешнего освещения и более устойчив к перекрестным помехам, вызываемыми стеклянными поверхностями. Из выше сказанного при сравнении ультразвуковое и лазерного дальномера можно сделать вывод что в стендах ГПС-01. Использования датчика на основе лазерного дальномера VL53L0X более предпочтительней в виду нескольких факторов, таких как точность измерения, и факторов, не влияющих на них.

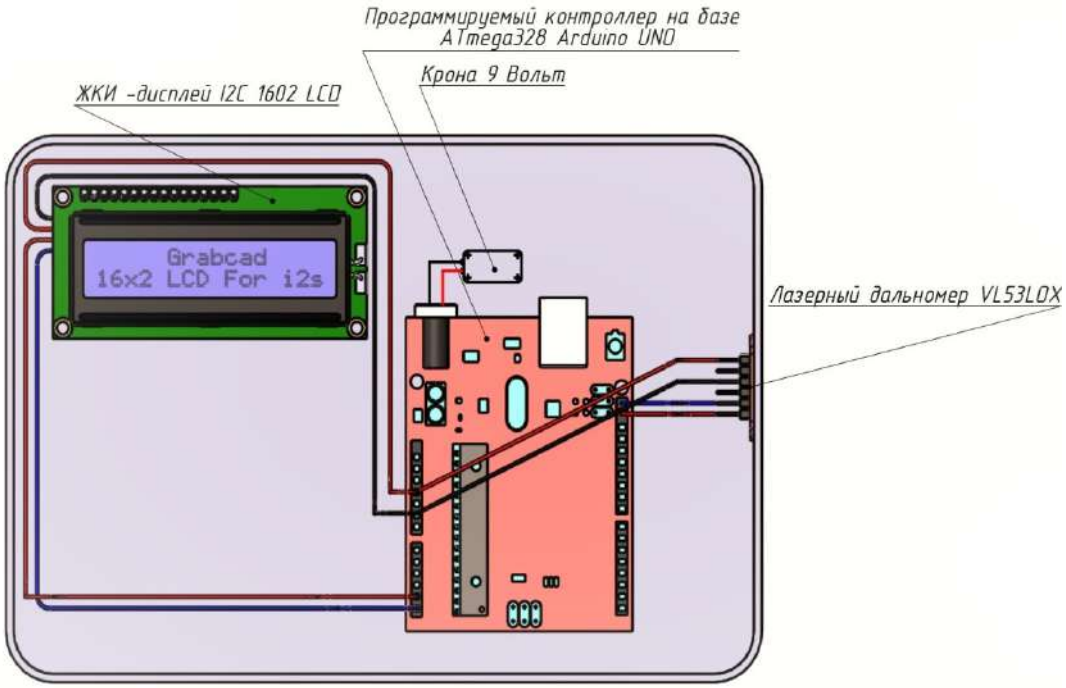


Рис.3 Опытный образец датчика измерения расстояния

Изготовлен рис.3 и испытан опытный образец датчика измерения расстояния, считывающий показания расстояния в системе стенда в реальном времени. Система измерения состоит из корпуса с жестко закрепленной в нем платы Arduino UNO R3 и датчиком лазерного дальномера VL53L0X, LCD-дисплей 1306.

В общем случае структура измерительной системы диагностирования включает в себя: датчики, обеспечивающие преобразование различных физических величин в электрические сигналы; коммутации, обеспечивающие подключение различных величин по определенной программе; памяти для хранения значений, промежуточных результатов; индикация и регистрация для отображения результатов, получаемых в результате выполнения процедур измерения, контроля, вычисления и диагностирования; реализация функционирования измерительной системы и управление электромеханическим приводом осуществляется с помощью специально разработанной программы на языке программирования С++ в среде платформы Arduino.

Все это расширяет возможный набор учебных, лабораторных и исследовательских

работ по гидроприводу и автоматике на учебно-демонстрационном стенде ГПС-01 без дополнительного привлечения значительных материально-технических средств.

Результаты получены при выполнении магистерской диссертации Терскова Д.Ю. на тему: «Модернизация измерительной системы лабораторного стенда ГПС-01» на кафедре «Основы конструирования машин» под руководством Лауреата гранта Президента молодым ученым кандидатам наук, к.т.н., доцента Ереско Александра Сергеевича и внедрена в учебный процесс кафедры «Основы конструирования машин» института Машиноведения и мехатроники ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева при участии Профессора кафедры д.т.н., Заслуженного изобретателя РФ Ереско Сергея Павловича. [1-16].

Литература:

1. Сидоров С.В., Ереско С.П. Совершенствование гидропривода учебно- демонстрационной установки ГПС-01// Решетнёвские чтения: материалы XIX международной научной конференции: в 2ч./ под общ. ред. Ю.Ю. Логинова, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, 2015 - с. 346-348.

2. Ереско А.С., Ереско С.П., Шевцов С.М. Автоматизация процессов измерения вибрации // Механики XXI веку. VII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: Сборник докладов. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008.-с.-38-42.

3. Ереско С.П., Шевцов С.М. Аппаратно-программный комплекс для исследования характеристик датчиков вибрации// Мат-лы научно практической конф. «Проблемы авиации и космонавтики».- Красноярск: СибГАУ, 2010. –с.-149.

4. Ереско С.П., Шевцов С.М. Измерительные преобразователи вибрационных процессов// Системы. Методы. Технологии: научный периодический журнал, № 3 (7).- Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010.-С.-42-49.

5. Ереско А.С., Курочкина А.В., Иваненко Е.В. Цифровой тахометр с использованием датчика холла на платформе arduino / // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 1. № 14. С. 363-365.

6. Ультразвуковой датчик расстояния АрдуиноHC-SR04 https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/

7. Ереско, А.С. Разработка модуля измерения деформаций с помощью тензорезисторов с использованием arduino /А.С. Ереско, С.П. Ереско, Т.Т.Ереско, Е.В, Кукушкин, А.А.Орлов// Механики XXI веку. 2017. № 16. с. 82-85.

8. Терсков Д. Ю., Ереско А. С. Лазерный дальномер с oled-дисплем Arduino // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2020. Т. 1. № 15. С. 397-399.

9. А.С. Ереско, Д.Ю. Терсков, С.П. Ереско Модернизация измерительной системы лабораторного стенда ГПС-01 // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2021. Т. 1. № 16. С. 502-505.

10. А.С. Ереско, Д.Ю. Терсков, С.П. Ереско Проектирование исполнительного механизма на основе шариково-винтовой передачи с использованием ПО Winmachine // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. Т. 1. № 16. С. 445-448.

11. Механика современных специальных систем: Монография в 3-х томах Т.1: Отдельные современные технологии и системы / Василенко Н.В., Галибей Н.И., Гупалов В.К., Ереско С.П., Ереско Т.Т., Ивашов Е.Н., Крайнев А.Ф., Суворинов А.В., Смирнов Н.А., Сугак Е.В., Титов В.А., Тихонов А.Н., Терентьев В.Ф., Усаков В.И., Шабалин С.А. Янюшкин А.С. /Под редакцией профессоров Н.В.Василенко, Н.И. Галибея.-Красноярск: ООО «Печатные технологии», 2004.– 574 с.

12. Механика современных специальных систем: Монография в 3-х томах Т.2: Оборудование, исполнительные системы, устройства, узлы / Василенко Н.В., Галибей Н.И., Гупалов В.К., Ереско С.П., Ереско Т.Т., Ивашов Е.Н., Крайнев А.Ф., Суворинов А.В., Смирнов Н.А., Сугак Е.В., Титов В.А., Тихонов А.Н., Терентьев В.Ф., Усаков В.И., Шабалин С.А. Янюшкин А.С. /Под редакцией профессоров Н.В.Василенко, Н.И. Галибея.-Красноярск: ООО «Печатные технологии», 2004.– 688 с.

13. Механика современных специальных систем: Монография в 3-х томах Т.3: Проектирование, показатели качества, идеология конструирования, САПР / Василенко Н.В., Галибей Н.И., Гупалов В.К., Ереско С.П., Ереско Т.Т., Ивашов Е.Н., Крайнев А.Ф., Суворинов А.В., Смирнов Н.А., Сугак Е.В., Титов В.А., Тихонов А.Н., Терентьев В.Ф., Усаков В.И., Шабалин С.А. Янюшкин А.С. /Под редакцией профессоров Н.В.Василенко, Н.И. Галибея.-Красноярск: ООО «Печатные технологии», 2004.– 588 с.

14. Кобзов Д.Ю., Ереско С.П. Методика определения эксцентриситета в опорах крепления гидроцилиндров //«Горное оборудование и электромеханика», М.: Новые технологии, 2009, № 3, с.-38-43.

15. Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Сравнительный анализ конструкций карданных шарниров неравных угловых скоростей //Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск: СибГАУ, 2015. -Т. 16, № 3. -С. 720-728.

16. Стенд для испытания карданных передач/ Е.В. Кукушкин, В.А. Меновщиков, С.П. Ереско, Т.Т. Ереско// Патент на полезную модель RU 149002 U1, 20.12.2014. Заявка № 2014120845/28 от 22.05.2014.

Expansion of functional capabilities laboratory bench GPS-01

Eresko A.S.[1,a], Terskov D.Yu.[1,b], Eresko S.P.[1,c]

[1]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[a]eresko07@mail.ru

Keywords: *electromechanical drive, modernization, expansion, laser rangefinder, VL53L0X, arduino with OLED display, training and demonstration installation, microcontroller.*

The paper presents the results of modernization and expansion of functional capabilities due to the introduction of an electromechanical drive in the basic design of the simulation and research of hydraulic pneumatic systems, as well as the results of modernization of the measuring system of the simulator by introducing a laser rangefinder with OLED display made on the platform of Arduino Nano v.3.0 to improve the measurement system of the training-demonstrator GPS-01.

УДК 629.786.2

Межорбитальный корабль с возможностью дозаправки на орбите

Бордачев В.А. [1,a], Кустов А.В.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a] vladimir27032001@mail.ru,[b] alexkust@mail.ru

Ключевые слова: космос, дозаправка, полет, корабль.

Статья рассказывает об одном из важнейших компонентов космических технологий - межорбитальной дозаправке. В статье описываются преимущества и недостатки этого метода заправки кораблей, который может использоваться для экономии топлива, увеличения дальности полета и повышения оперативности миссий. С другой стороны, существуют ряд технических трудностей и большие затраты на разработку такого типа транспорта. Тем не менее, межорбитальная дозаправка является ключевой составляющей современных программ космического исследования и конструирования космической аппаратуры. В статье рассматривается программный комплекс для моделирования космической среды на основе методов компьютерной графики. С помощью данного комплекса можно визуализировать сложные физические процессы, происходящие в космосе, и использовать их для анализа и управления космическими объектами. Авторы обсуждают применение данного ПО для решения практических задач в области космической технологии.

Межорбитальные корабли – это космические корабли, которые способны перемещаться между орбитами планет, астероидов, комет и других космических объектов. Эти корабли используются для исследования космоса, доставки грузов и пассажиров на орбиты различных космических объектов, а также для выполнения различных задач, связанных с колонизацией космоса.

Для достижения межорбитальных объектов корабли обычно используют двигатели, работающие на топливе, которое может обеспечить большую тягу и скорость, необходимые для преодоления гравитации космических объектов. В качестве топлива могут использоваться горючие жидкости, сжатый газ или ядерные реакторы.

Многие межорбитальные корабли оснащены системами жизнеобеспечения, которые обеспечивают пищу, воду и кислород для команды. Также на борту устанавливаются научные оборудования для исследования окружающей среды на орбите.

Создание межорбитальных кораблей является сложной технической задачей, но они имеют огромный потенциал в области исследования космоса и колонизации других планет. Объединение усилий многих стран и частных компаний в этой области может привести к созданию новых космических технологий и достижении новых высот в освоении космического пространства.

Среди данных методов исследования наиболее целесообразным считается неразрушающий контроль. Входящие в данную категорию способы более доступны в финансовом плане в отношении к лабораторным испытаниям. Для получения наиболее точных результатов о состоянии деталей и полученных из них сборочных конструкций, используют в комплексе два и более метода неразрушающего контроля, каждый из которых взаимодополняет друг друга и позволяет частично проконтролировать полученные данные.

Межорбитальный корабль с возможностью дозаправки на орбите является одним из наиболее перспективных разработок в области космических технологий. Этот вид транспорта может использоваться для перевозки грузов и людей на большие расстояния в космосе, например, для доставки людей на Марс или для доставки на орбиту космических станций.

Одним из ключевых преимуществ межорбитального корабля является возможность его дозаправки на орбите. Это означает, что после запуска в космос корабль не должен совершать полет с полным баком топлива, что значительно сокращает его массу и, соответственно, стоимость запуска.

Дозаправка на орбите возможна благодаря использованию специальных топливных цистерн, которые способны легко соединяться с межорбитальным кораблем в космическом пространстве. Эти цистерны также могут быть использованы для транспортировки грузов и провизии.

Возможность дозаправки на орбите является не только экономически выгодной, но и позволяет значительно расширить возможности межорбитального корабля. Так, при наличии дополнительного топлива, он может легко изменить свой курс, позволяя достаточно быстро реагировать на изменения ситуации в космосе или на земле.

Кроме того, межорбитальный корабль с возможностью дозаправки на орбите также позволяет значительно уменьшить количество мусора в космическом пространстве. Использование одной и той же цистерны для дозаправки различных кораблей уменьшает количество отходов, что положительно влияет на экологию космического пространства.

Межорбитальная дозаправка является одним из ключевых компонентов современных космических технологий и имеет свои выгоды и недостатки.

Преимущества:

1. Экономия топлива и увеличение дальности полета. Межорбитальная дозаправка позволяет использовать меньше топлива при запуске в космос, что в свою очередь позволяет реализовать более дальние полеты без необходимости увеличивать массу корабля и его стартовую цену.

2. Уменьшение нагрузки на системы. При межорбитальной дозаправке на орбите подготовка к полету включает в себя выпуск существенно меньшего количества топлива с начала полета. Это уменьшает нагрузку на топливные системы, что также в свою очередь повышает безопасность полета.

3. Увеличение оперативности миссий. При возможности межорбитальной дозаправки корабль может легко изменить свою миссию и выполнить задание более эффективно в короткие сроки.

Недостатки:

1. Значительно большие затраты на разработку такого типа транспорта, по сравнению с традиционной схемой запусков кораблей. Подготовка к космическому полету возможно не ограничивается только стоимостью разработки самих кораблей, но и материалов, необходимых для их изготовления, а также на обучение полномочных лиц.

2. Есть ряд технических трудностей, связанных с необходимостью приема и отправки топлива в относительно ограниченных условиях гравитационного поля Земли и других планет.

3. Повышается риск пересечения траекторий с другими объектами при наличии большого количества космического мусора.

Несмотря на некоторые проблемы, межорбитальная дозаправка существенно повышает эффективность космических операций и является ключевой составляющей многих современных программ космического исследования и конструирования космической аппаратуры.

Таким образом, межорбитальный корабль с возможностью дозаправки на орбите – это перспективный вид транспорта, который не только экономически выгоден, но и позволит значительно увеличить возможности космической технологии. Не смотря на свою высокую стоимость, технология создания межорбитальных кораблей с дозаправкой на орбите является инвестицией в будущее, благодаря которой мы реализуем множество космических программ и достигнем новых вершин в исследовании космоса.

Литература:

1. Соболев Иван Анатольевич, Леонов Виктор Витальевич, Волкова Татьяна Вячеславовна, Бечаснов Павел Михайлович Анализ концепции долговременной орбитальной станции для обслуживания межорбитального грузопотока // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. №4 (64). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kontseptsii-dolgovremennoy-orbitalnoy-stantsii-dlya-obsluzhivaniya-mezhorbitalnogo-gruzopotoka (дата обращения: 20.04.2023).

2. Многоразовая космическая транспортная система для массовой доставки с околоземной

орбиты на окололунную орбиту туристов или полезных грузов и последующего возвращения на землю [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://findpatent.ru/patent/273/2736657.html (дата обращения 21.04.2023)

3. Межорбитальный буксир [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/234431/ (дата обращения 22.04.2023)

Interorbital spacecraft with in-orbit refueling capability

Bordachev V.A. [1,a], Kustov A.V.[1, b]

[1]Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, prosp. them. gas. "Krasnoyarsk worker", 31
[a] vladimir27032001@mail.ru, [b] alexkust@mail.ru

Key words: space, refueling, flight, ship.

The article tells about one of the most important components of space technologies - interorbital refueling. The article describes the advantages and disadvantages of this method of refueling ships, which can be used to save fuel, increase flight range and increase the efficiency of missions. On the other hand, there are a number of technical difficulties and high costs for the development of this type of transport. Nevertheless, interorbital refueling is a key component of modern space research programs and the design of space equipment. The article considers a software package for modeling the space environment based on computer graphics methods. With the help of this complex, it is possible to visualize complex physical processes occurring in space and use them for analysis and control of space objects. The authors discuss the application of this software to solve practical problems in the field of space technology.

УДК 62-822

Влияние высоких температур на работоспособность гидропривода строительной техники

Востоков Н.В.[1,a], Иванов К.Э.[1,b]

[1]Братский Государственный Университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]lotzip@yandex.ru, [b] kirill.zu15@mail.ru

Ключевые слова: гидравлическое масло, повышенные температуры, гидравлические системы, ТО, перегрев.

В данной статье проведён анализ возможных причин перегрева гидравлических систем строительно-дорожных машин, которые могут привести к недееспособности данных машин и затруднить их работу и эксплуатацию. Перечислены отрицательные стороны перегрева гидравлического масла. Приведены последствия перегрева и способы их решения. А также в качестве примера перечислены гидравлические жидкости, которые следует применять в условиях жаркого климата.

Гидравлическое масло, применяемое в строительных или сельскохозяйственных машинах, является рабочей жидкостью. Для разных условий эксплуатации должно

применяться масло той маркировки и консистенции, которое соответствует необходимым требованиям в сложившихся условиях.

К таковым условиям можно отнести такие факторы как: 1) Вид гидравлической системы, а именно какую расчётную нагрузку воспринимает система, оборудование, установленное в машине и износ данного оборудования; 2) Рабочая температура жидкости, имеется в виду способность машины охладить рабочую жидкость до нужной температуры, чтобы не потерять её вязкость или наоборот минимизировать возможные повреждение при работе с переохлаждённой жидкостью.

Не стоит думать, что только лишь отрицательные температуры могут оказать серьезное влияние на работу гидравлической системы. Чрезмерный перегрев гидравлического масла, так же способен повлиять на работоспособность системы.

С повышением температуры рабочей жидкости уменьшается её вязкость. Данный аспект влияет на производительность масляного насоса, так как ему приходится выполнять туже работу, но в большем объёме для того чтобы накачать установленное давление жидкости. Так же ухудшаются смазывающие свойства жидкости и увеличивается объем жидкости в системе.

Перегрев гидравлической жидкости имеет свои отрицательные стороны:

1. Масло становится менее вязким, что особенно заметно при проверке уровня;
2. Появляются утечки рабочей жидкости (подтёки масла отчётливо видно на штоках гидроцилиндров)
3. Снижение скорости перемещения рабочих органов;
4. Окислительные процессы – изменение цвета, запаха жидкости и появление осадка (а это в свою очередь ведёт к повышенному износу дорогостоящего оборудования)
5. Повреждение деталей или увеличение зазоров между ними;
6. Необычные звуки и вибрации;

Для защиты от перегрева в современных машинах есть системы автоматического отключения, которые останавливают работу машины при перегреве рабочего масла.

Основные причины перегрева:

1. Частое превышение допустимых нагрузок и скоростей работы;
2. Система охлаждения гидравлики не работает должным образом;
3. Грязь и пыль забивают фильтры, что ухудшает циркуляцию масла и приводит к его нагреву;
4. Использование некачественного или неподходящего масла;
5. Ошибки при настройке и монтаже гидравлического оборудования;
6. Элементы гидросистемы имеют несовместимую пропускную способность;
7. Неисправность насоса, мотора, распределителя, перепускного клапана, РВД, а также иных компонентов;

Перегрев гидравлического масла очень сильно влияет на уплотнения в рабочих органах. Штоки гидроцилиндров начинают течь, насос не выдерживает запланированное давление, рабочие органы не могут быть зафиксированы в одной плоскости, появляются утечки гидравлического масла. Чтобы избежать последствий перегрева, стоит защитить машину во время работы.

Даже в штатно-работающих системах в жаркое время года наблюдаются признаки перегрева машины. Для того чтобы минимизировать последствия перегрева следует:

1) Проводить запланированную диагностику гидравлических узлов машины и производить техническое обслуживание.
2) Использовать ту марку гидравлической жидкости, которая наиболее подходит для данного сезона.
3) Применять присадки-загустители.

4) При выявлении подтёков на гидроцилиндрах провести ТО машины, заменить изношенные части.

5) Своевременно проверять работоспособность охлаждающих систем, радиаторов, патрубков, обратить внимание на среднюю температуру гидравлического масла в системе во время работы.

6) Для дополнительного охлаждения гидравлической жидкости использовать до установленные вентиляторы.

Все вышеперечисленные меры, позволят машине работать в комфортных условиях и не допустят перегрев рабочей жидкости. При работе, для предотвращения повышенного износа гидравлической системы и преждевременного выхода её из строя стоит не превышать рабочую температуру жидкости (+100 – максимум). Так же стоит учитывать, что температура жидкости в баке сильно отличается от температуры той же жидкости уже на выходе из насоса, поэтому при температуре рабочей жидкости в баке + 80-90 градусов, стоит задуматься о прекращении работы.

Приведём ряд марок масел, которые следует использовать для техники, чья специфика работы заключается в эксплуатации в зонах с повышенной температурой окружающей среды:

МГ-32Б – всесезонное масло, целесообразно использовать при температурах от -30, до + 20-30 градусов Цельсия.

МГ-46Б – более теплостойкое масло применяющаяся для летнего периода;

VG 46 – так называемый универсальный вариант гидравлического масла. Выдерживает работу при температурах окружающей среды от -30 до 40 градусов Цельсия;

VG 68 – является узконаправленной маркой гидравлического масла для работы в тёплом и жарком климате;

VG 100 – применяется при экстремально высоких рабочих температурах. Сохраняет приемлемую вязкость при температуре рабочей жидкости от 80 до 100 градусов.

Каждый из производители гидравлических масел, заявляет о:

1) Высоком качестве масла;
2) Низком шлакообразовании при высоких температурах;
3) Хорошей фильтрации масла;
4) Отличных смазывающих свойствах;
5) Приемлемой вязкости.

Но стоит учитывать человеческий фактор и использовать в гидросистемах только сертифицированные масла. Предприятиям, совершающим постоянные закупки гидравлических масел, нужно выработать свои критерии качества на основе опыта эксплуатации техники и своих лабораториях проводить оценку качества поступающих масел, и уже отработанных. Это нужно для того, чтобы понять причины выхода из строя гидропривода и при дальнейшей эксплуатации не допустить перегрева гидросистемы или её повышенного износа.

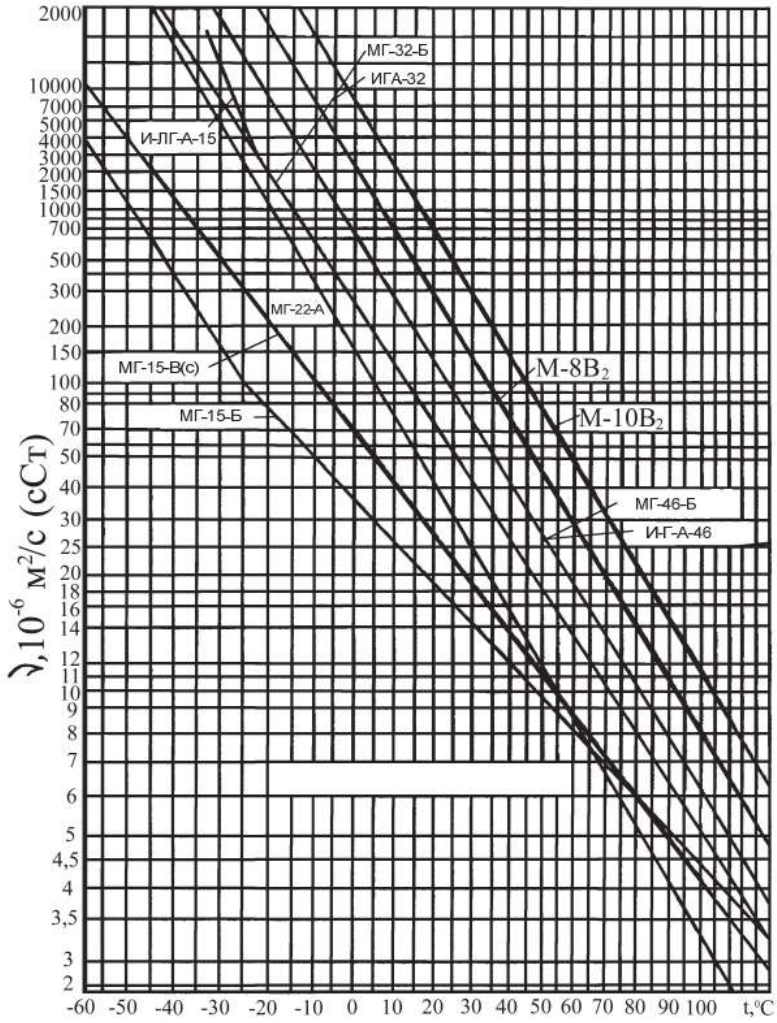


Рис. 1. Зависимость вязкости рабочей жидкости марки МГ от температуры

Из всего вышесказанного можно сделать простые выводы:

Для поддержания работоспособности техники в жарком климате, стоит вовремя проводить ТО. Зачастую, основными причинами перегрева является: износ рабочих органов и деталей гидропривода, засорение насоса и фильтра, неправильно подобранный тип масла. Большинство видов строительной или дорожной техники, проектируются с учетом их возможной работы в тёплом и жарком климате. Так же для успешной и бесперебойной работы нужно вовремя менять масло в зависимости от сезона. Ответственным за ТО лицам стоит заранее ознакомится с особенностями климата, в котором технике предстоит работа и заранее её подготовить к работе, учитывая износ техники и рекомендации производителя, касательно данной машины.

Литература:

1. Вайскранц, В.М. Повышение эффективности использования машин для земляных работ в условиях жаркого климата. Стройиздат 1983г. – 84 стр.

2. Ковальский, В.Ф. Динамические модели гидравлического привода с закрытой циркуляцией рабочей жидкости в условиях температуры Вьетнама.

3. Тинь, Н.В. Совершенствование технической эксплуатации гидроприводов строительных и дорожных машин, используемых в условиях жаркого климата. 1991 г – 16 стр.

4. Сайт HOLV ссылка на сайт: https://holv-group.com/catalog/slide/holv-guidway-68/ (22.04.2023)

5. Сайт Роснефть, ссылка на сайт: https://rosneft-lubricants.ru/netcat_files/products_pds/TNK_Gidravlic_HVLP_46.pdf (24.04.2023)

The effect of high temperatures on the performance of the hydraulic drive of construction machinery

Vostokov N.V.[1,a], Ivanov K.E.[1,b]

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia
[a]Vostokov12@mail.ru, [b]kirill.zu15@mail.ru

Keywords: hydraulic oil, elevated temperatures, hydraulic systems, maintenance, overheating.

This article analyzes the possible causes of overheating of hydraulic systems of road construction machines, which can lead to the incapacity of these machines and complicate their operation and operation. The negative aspects of overheating of hydraulic oil are listed. The consequences of overheating and ways to solve them are given. And also, as an example, hydraulic fluids that should be used in hot climates are listed.

УДК 629.01

Разработка стенда для определения эффективности различных типов отвалов

Солодко К. В.[1,a], Сарычев А.В.[1,b], Гореликов М.А.[1,c], Жаров В.М.[1,d], Погонина А.М.[1,e]

[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Ленинградский проспект, д.64, Москва, Россия
[a]Konstantin.solodko@gmail.com, [b]Sarychevalexander0@gmail.com, [c]mr.gorelikofff@mail.ru, [d]vova-zharow15@yandex.ru, [e]alexandra.pogonina@gmail.com

Ключевые слова: снегоуборочная техника, эффективность отвалов, скоростные отвалы, скоростные отвалы, уборка ВПП, зимнее обслуживание аэропорта.

Снегоочистительный отвал – одно из самых распространенных снегоочистительных навесных орудий. Данная статья посвящена изучению эффективности различных типов отвалов на специально разработанном экспериментальном стенде, с целью определения наиболее эффективного типа для уборки снега. Для проведения эксперимента был сконструирован экспериментальный стенд, по разработанной 3D- модели, на котором были испытаны новые типы отвалов. Для оценки различных типов отвалов был введен показатель эффективности уборки снежной массы, являющийся отношением массы оставшегося на полотне стенда снега к массе снега до прохода отвала. Результаты эксперимента были обсчитаны и представлены в графическом виде в научной работе. Выявлен наиболее эффективный тип отвала, применение которого сможет повысить эффективность уборки взлетно-посадочной полосы.

Отвал представляет собой изогнутую пластину, предназначенную для эффективного отбрасывания снежной массы снега. Форма отвала проектируется таким образом, чтобы он

эффективно отбрасывал снег, и чтобы снеговая пыль при скоростной уборке не мешала обзору водителя. Для этого в верхней части отвала предусмотрен козырек. На нижней кромке располагается «нож» – металлическая или резиновая пластина, срезающая снег и приподнимающая его за счет изогнутой формы.

Металлический нож эффективен при работе со слежавшимся плотным снегом ледяной коркой. Недостаток – повреждает дорожные и аэродромные покрытия (рис.1).

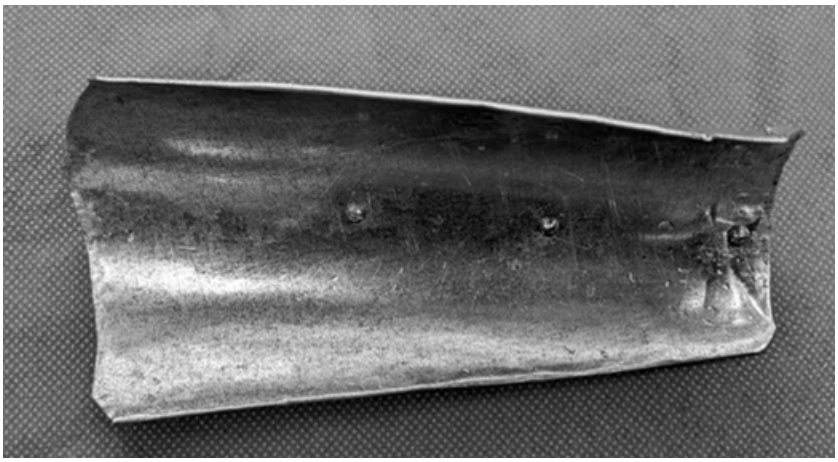


Рис.1. Пример модели отвала номер 1

Для эффективной очистки ВПП от снега необходимо применение отвалов различной конструкции. Определение наиболее эффективного типа отвала для уборки мокрого снега (влажностью порядка 70% при н.у.) является важной задачей в условиях аэропорта или профильного предприятия. Поэтому становится особенно актуально задача по проектированию новых типов отвалов, способных очищать покрытие.

Рис.2. Экспериментальный стенд

Учебный стенд (рис.2) предназначен для определения наиболее эффективного отвала для уборки мокрого снега с помощью моделирования рабочего процесса [1,2]. Стенд состоит из основания, на котором закреплён электромотор, приводящий в действие цепь. Она закреплена на двух звёздочках: одна из которых зафиксирована на электромоторе, а вторая на валу в подшипнике, встроенном в корпус. Электромотор приводится в действии при помощи 12V преобразователя, который включён в розетку 220В [5]. Также к цепи приварено 5 кронштейнов для разных видов отвалов. Отвалы крепятся к этим кронштейнам, с помощью 3 шайб и 3 гаек [3,4]. Для определения массы изначального и остаточного количества снега, использовались весы.

Для оценки эффективности уборки отвала введем понятие коэффициента эффективности.

Под эффективностью уборки будем понимать отношение массы снега, оставшегося после прохода отвала, к изначальной массе снега.

Тогда коэффициент эффективности уборки

$$K_{э1} = \frac{m_{ост}}{m_{изн}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Результаты измерений и расчетов сведены в таблицу, проанализированы и сведены в графическом виде на рис.3:

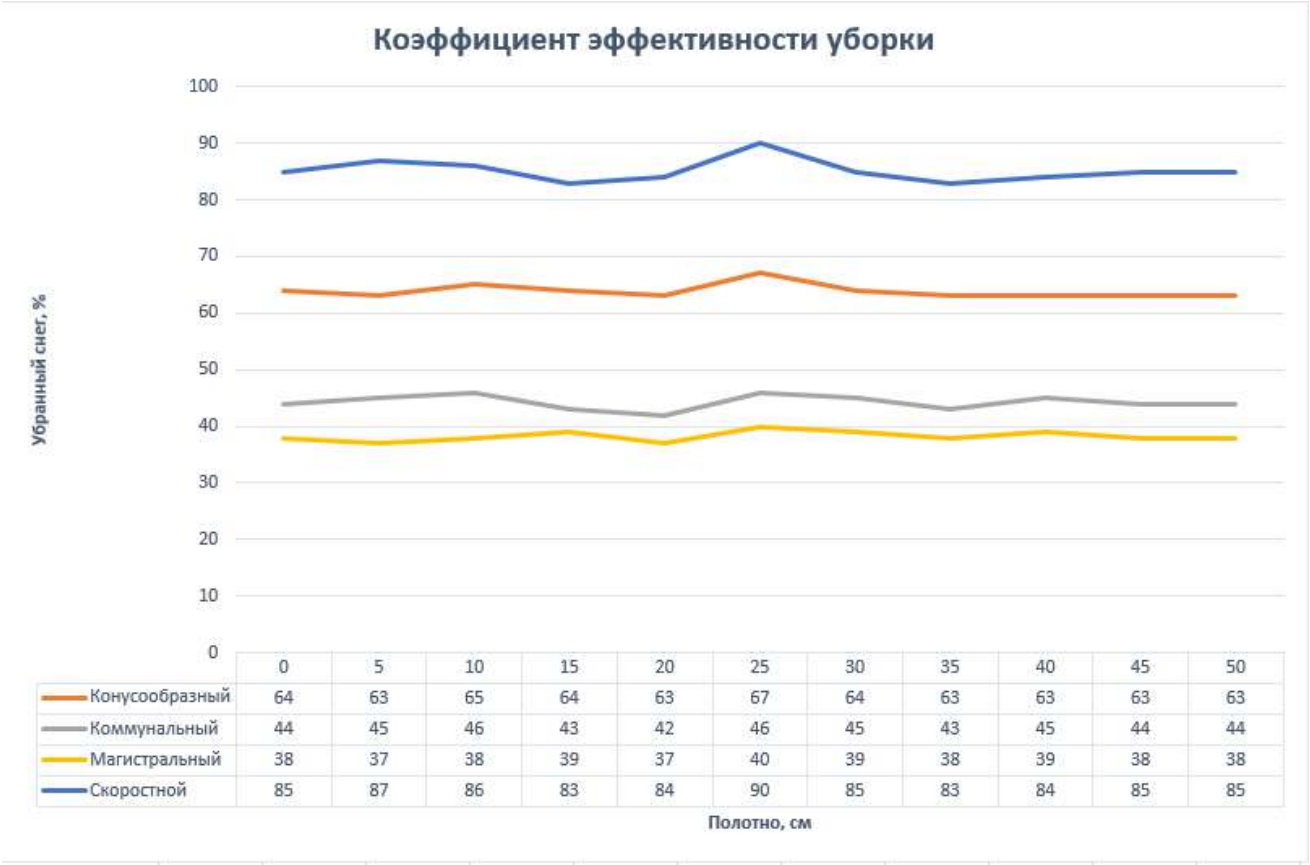


Рис.3. Сравнение коэффициента уборки разных типов отвалов

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований, проводимых на разработанном стенде в виде графиков.

Выводы:

- в ходе исследования разработана методика оценки эффективности процесса уборки ВПП;

-в ходе проведения эксперимента был введен параметр «коэффициент эффективности», являющийся отношением массы снега, оставшегося после прохода отвала к массе снега до начала уборки. Данная методика может использоваться при разработке новых типов отвалов, при этом не требуя изготовления их в натуральную величину.

- разработан экспериментальный стенд, позволяющий проводить исследования с моделями отвалов;

- данной работе после проведения экспериментов и проведения расчётов, было выявлено, что самым эффективном отвалом является тип 4, в связи с тем, что у него наибольший коэффициент эффективности 85%(отношение остаточного снега к изначальному).

Литература:

1. Александров В.Д. Конструкция инструментов и расчет параметров процесса резания при сверлении: методические указания к расчетно-практической работе №3 / В.Д. Александров [и др.]. – М.: МАДИ, 2017. – 32 с.
2. Богданов К.Л. Тяговый электропривод автомобиля / Богданов К.Л. – М.:МАДИ (ГТУ), 2009. – 57с.
3. Мандровский К.П. М 231 Основы методологии мониторинга технико-экономической эффективности дорожно-строительных машин: монография / К.П. Мандровский. – М.: МАДИ, 2022. – 160 с.
4. Зеленый П.В. Инженерная графика. Практикум по электрическим схемам. Методические указания / П.В Зеленый. –М.:БНТУ(ГТУ), 2009.
5. Электрические схемы в машиностроении : [Электронный ресурс].URL: https://electricavdome.ru/elektronnye-sxemy-dlya-nachinayushhix-kak-sdelat-elektrosxemu-svoimi-rukami.html (Дата обращения: 01.03.2021).

Stand for determining the effectiveness of various types of dumps

Solodko K.V.[1,a], Sarychev A.V.[1,b], Gorelikov A.M.[1,c], Zharov V.M.[1,d], Pogonina A.M.[1,e]

[1]Moscow Automobile and Road State University, 64, Leningradskiiprospect, Moscow, 125319, Russia
[a]Konstantin.solodko@gmail.com, [b]Sarychevalexander0@gmail.com, [c]mr.gorelikofff@mail.ru, [d]vova-zharow15@yandex.ru, [e]alexandra.pogonina@gmail.com

Keywords: snowplows, plow efficiency, high-speed plows, high-speed plows, runway cleaning, airport winter maintenance.

A snow plow is one of the most common snow plow attachments. This article is devoted to the study of the effectiveness of various types of dumps on a specially designed experimental stand, in order to determine the most effective type. For the experiment, an experimental stand was designed, according to the developed 3D model, on which new types of dumps were tested. To evaluate various types of dumps, we introduced an indicator of cleaning efficiency, which is the ratio of the mass of snow remaining on the bed of the stand to the mass of snow before the dump passes.The results of the experiment were calculated and presented in graphical form in a scientific work. The most effective type of blade has been identified, the use of which can increase the efficiency of cleaning the runway.

УДК 629.39

Проектирование и расчет гидроножничного рабочего оборудования спецшасси для демонтажных работ в условиях техногенных и природных катастроф

Минц Д.С.[1,a], Погонина А.М.[1,b]

[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Ленинградский проспект, д.64, Москва, Россия
[a]den.mints98@mail.ru, [b]alexandra.pogonina@gmail.com

Ключевые слова: гидроножницы, хребтовая стрела, спецтехника, расчет, позвонок, колесно-шагающий экскаватор.

Данная статья посвящена описанию конструкции проектируемого рабочего оборудования и используемой методике расчета гидравлической системы рабочего оборудования колесно-шагающего экскаватора. Гидроножницы являются основным рабочим инструментом спецтехники в условиях работы в чрезвычайных ситуациях. Работа в завалах предполагает использование специализированного оборудования, которое обеспечивает бесперебойную работу с продуктами техногенного разрушения, а так же предотвратит использование ручного труда в особо сложных ситуациях. В представленном материале автором приводится описание конструктивных решений по сокращению массы оборудования, технологии работы и управления разрабатываемым оборудованием. Так же представлено визуальное изображение дизайна гидравлических ножниц. В качестве результата приводится график зависимости усилия от массы.

Гидроножницы являются основным рабочим оборудованием для разрабатываемого вида техники. Основу гидроножниц составляет нижняя и верхняя щека, подвижной является только нижняя, это связано с тем, что особенность конструкции секционной стрелы может не ограничивать перемещение и поворот ножниц во всех рабочих плоскостях, давая возможность поддевать малогабаритный мусор и переносить его на необходимое расстояние. Лезвие, расположенное на верхней щеке предназначено для разрезания арматуры и для предотвращения соскальзывания бетонных блоков с нижнего хвата.

Рис.1. Конструкция гидравлических ножниц.
1- лезвие; 2-верхняя щека; 3-зубья захвата; 4-нижняя щека

Особенностью данной техники является ее возможность достичь нужной цели в очень стесненных условиях, при низкой освещенности. Для этого на верхней щеке располагаются источник освещения для лучшей видимости, и камера дистанционного слежения, с инфракрасным излучением. Проблемой гидравлических ножниц является их большой вес вкупе со строительным мусором, для этого на внешних поверхностях щек убран лишний металл и предусмотрены сквозные отверстия. Все это сокращает тем самым общую массу рабочего оборудования [1,2].

Гидроцилиндр подъёма, опускания нижней щеки расположен во внутренней полости, внешний контур верхней щеки создает защитный короб, не позволяя обломкам, пыли и остальному мусору помешать работе машины [3].

Для присоединения рабочего органа к подвижной секции стрелы, была придумана так называемая переходная плита, ее крепление осуществляется с помощью болтового соединения. С помощью четырех отверстиях по бокам происходит закручивание болтов.

Таблица 1

Техническая характеристика

Вес,т	12,7
Длина,мм	11401
Ширина,мм	437
Радиус захвата, м	3,446-6,892
Высота выгрузки, м	11,171
Угол поворота гидроножниц, град	360
Вес гидроножниц, т	0,106
Максимальная длина, мм H	1422
Максимальная ширина захвата, мм (l)	261
Разрушающее усилие, кН	200
Режущее усилие (a), кН	580
Рабочее давление, бар	210

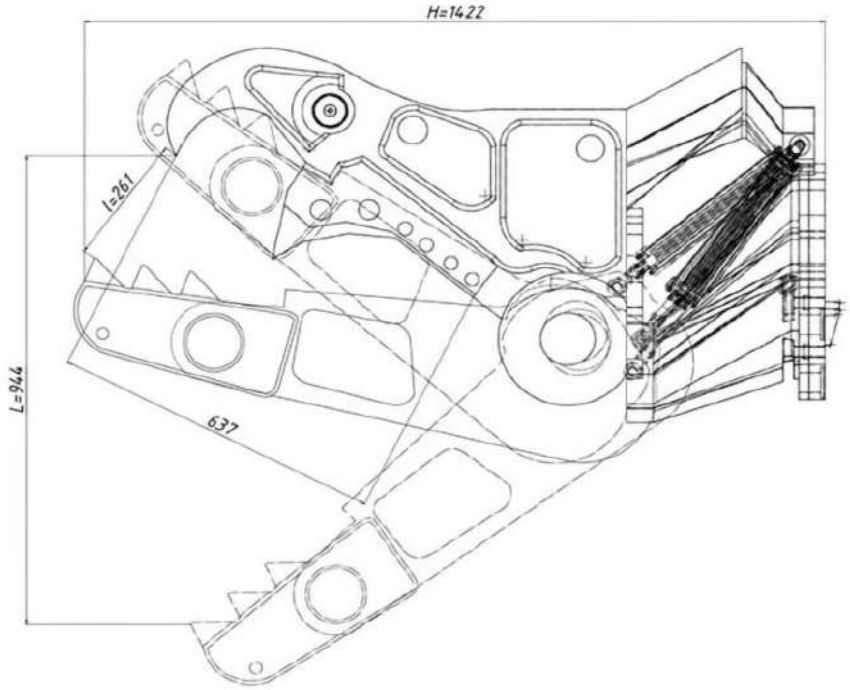


Рис.2. Общий вид гидравлических ножниц

Усилие резания зависит от многих факторов: площади сечения среза, геометрических размеров режущих ножей, физико-механических свойств материала и других (1). В результате регрессионного анализа статистических данных установлена функциональная зависимость массы гидравлических ножниц от глубины челюстей и длины гидроножниц [4,5].

$$T = -0{,}0002 \cdot M^2 + 2{,}7151 \cdot M - 956{,}75; \quad (1)$$

где T – усилие резания, кН; M – масса гидроножниц, кг; $M \in (750, 5500)$.

Усилия резания, развиваемые гидравлическими ножницами, для разделки металлолома и разрушения железобетонных покрытий достигают величин от 500 до 6500 кН при массе от 100 до 5000 кг (рис.3).

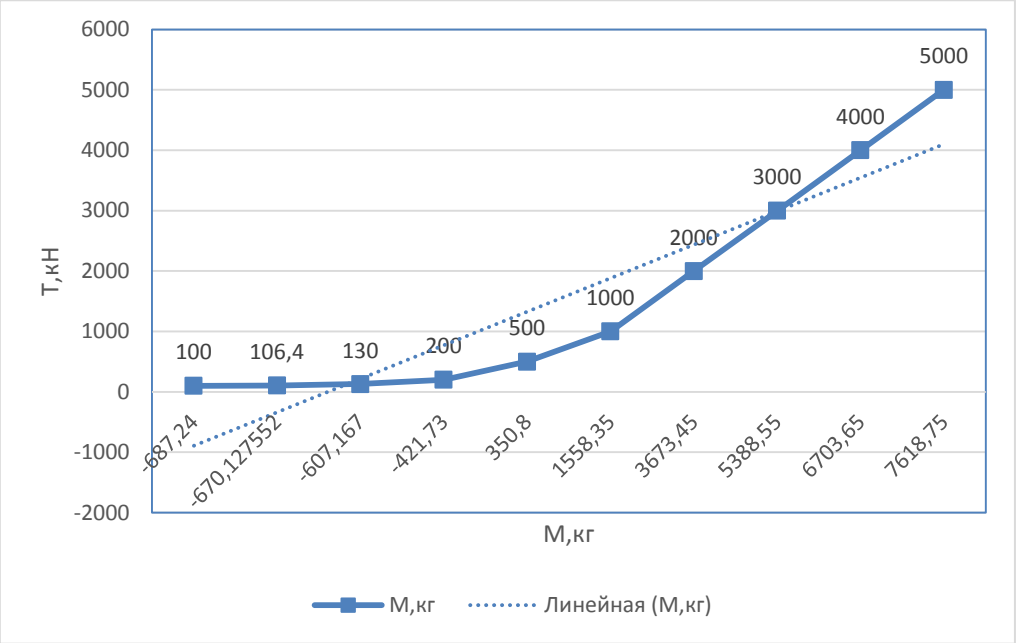


Рис 3. Зависимость усилия резания от массы гидравлических ножниц

Заключение. Выведена зависимость усилия резания от массы рабочего оборудования на базе экспериментальных исследований. Эта зависимость позволяет разработать методику расчета гидроножниц. Конструкция рабочего оборудования спроектирована таким образом, чтобы сэкономить материал.

Литература:

1. Алексеева, Т.В. Гидравлические машины и гидропривод мобильных машин / Т.В. Алексеева, Н.С. Галдин, Э.Б. Шерман. – Новосибирск: НГУ, 1994. – 212 с
2. Арифуллин, Е.З. Технология ведения аварийно-спасательных работ при обрушении зданий и сооружений. Методические указания. / Е.З. Арифулин, А.И. Болдинов, П.А. Куприенко. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», 2011. – 154 с.
3. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. - М.: Машиностроение, 1972. - 320 с.
4. Беленков, Ю.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник / Ю.А. Беленков, А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин. – Москва:Бастет, 2013. – 406 с.
5. Машинист дорожных и строительных машин: Учеб. пособие для нач. проф. образования / М.Д. Полосин. - М.: Издательский центр «Академия», 2002. - 288 с. 3. СтандартпредприятияСТПКГТУ 01-06

Design and calculation of hydro-scissor working equipment of a special chassis for work in rubble conditions

Mints D.S.[1,a], Pogonina A.M.[1,b]

[1]Moscow Automobile and Road State University, 64, Leningradskiiprospect, Moscow, 125319, Russia
[a]den.mints98@mail.ru, [b]alexandra.pogonina@gmail.com

Keywords:hydraulicshears, spinalboom, specialequipment, calculation, vertebrae, wheel-walkingexcavator.

This article is devoted to the description of the design of the working equipment being designed and the method used to calculate the hydraulic system of the working equipment of a wheel-walking excavator. Hydraulic shears are the main working tool of special equipment in emergency situations. Work in the rubble involves the use of specialized equipment that ensures uninterrupted work with products of man-made destruction, as well as prevents the use of manual labor in particularly difficult situations.In the presented material, the author describes the design solutions to reduce the weight of equipment, the technology of operation and control of the equipment being developed. A visual representation of the hydraulic shear design is also presented. Theresultis a plot offorceversusmass.

УДК 629.1

Разработка удерживающего и направляющего оборудования машины для установки гибкого тросового ограждения на дорогах

Коншин П.Ю.[1,a], Погонина А.М.[1,b]

[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Ленинградский проспект, д.64, Москва, Россия
[a]konshin.pv@mail.ru, [b]alexandra.pogonina@gmail.com

Ключевые слова: тросовое ограждение, направляющее оборудование, удерживающее оборудование, гибкое ограждение, трос, дорога, спецтехника.

Данная работа посвящена актуальной проблеме - увеличению производительности процесса установки гибких дорожных ограждений и сокращению использования ручного труда при строительстве и ремонте гибких ограждений на дороге.. В статье рассматривается проект направляющего и удерживающего оборудования для специальной машины, позволяющей автоматизировать монтаж столбиков и протяжку канатов в процессе установки тросовых ограждений. Приводится полное описание конструкций разрабатываемых рам, представлены 3d-модели в качестве визуализации. Разрабатываемая машина является основной и входит в комплекс для строительств, ремонта и содержания дорожных тросовых ограждений. В качестве рекомендаций авторы указывают актуальность разработки методики расчета основных параметров оборудования машины, которые смогут подтвердить работоспособность конструкции. Так же в заключение приводятся направления дальнейших исследований.

Тросовые дорожные ограждения – удерживающая система безопасности, используемой для предотвращения выезда автомобилей на встречную полосу и сохранения жизни всем участникам дорожного движения [1]. Установка столбиков и протяжка канатов на сегодняшний день выполняется операторами вручную [2]. Поэтому становится актуальным разработка спецтехники, позволяющей автоматизировать данный процесс.

Автопоезд для установки ограждений представляет собой КАМАЗ 65115 с КМУ Inman IT-180 с базовым прицепом, для которого впервые разрабатывается специально удерживающее и подающее оборудование [3].В качестве базового прицепа был выбран прицеп 949124-4 компании АСТ-Канаш [4,5]. Авторами была разработана специальная рама кузова, усиленная продольными и поперечными балками для установки на нее удерживающего и направляющего оборудования.

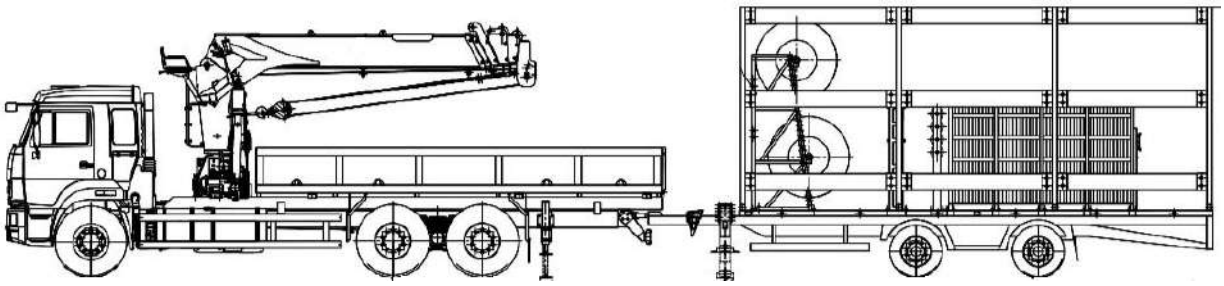


Рис.1. Общий вид автопоезда

Бухты устанавливаются на разработанной раме. Рама состоит из профильной трубы 80х80х7 мм. Рама устанавливается в переднюю часть кузова прицепа, это решение обусловлено технологией работы. На раме бухты расположены в определенном порядке, две бухты находятся на одном уровне в верхней части рамы и две бухты на одном уровне в нижней части рамы. К полу рама крепится через кронштейны и болтовое соединение. Ось вращения бухт крепится к раме через кронштейн.

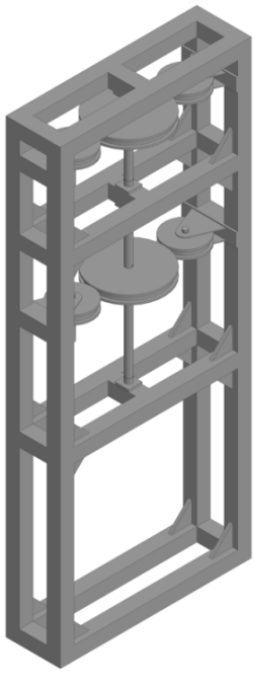


Рис. 2. Рама для направления канатов

Крепления сделаны съемные, для быстрой замены и возможности регулировки высоты оси вращения. Секция рамы рассчитана на нагрузку 3 т.

Так же в данном проекте разработана специальная рама для сведения канатов (рис. 2). Учитывая технологию работы, канаты необходимо направлять к отверстиям в столбиках. Разматывание канатов производится с четырех разных точек, а конечное положение канатов находится в центре прицепа, но на разной высоте. Именно поэтому разработана рама для установки направляющих шкивов.

Ролики меньшего диаметра вращающиеся. Ролик большего диаметра - удерживающий и не вращается. Его основная функция – направлять канаты.

Так же была разработана рама для удержания тросов на необходимой высоте (рис.3). Рама представляет собой параллельно сваренные профильные трубы 100х50х4 мм длиной 1700 мм и поперечины, обеспечивающие жесткость конструкции. Пять стальных роликов, диаметром 180 мм предназначены для окончательного сведения тросов по высоте и их центрированию. В раме предусмотрены отверстия для крепления шкивов.

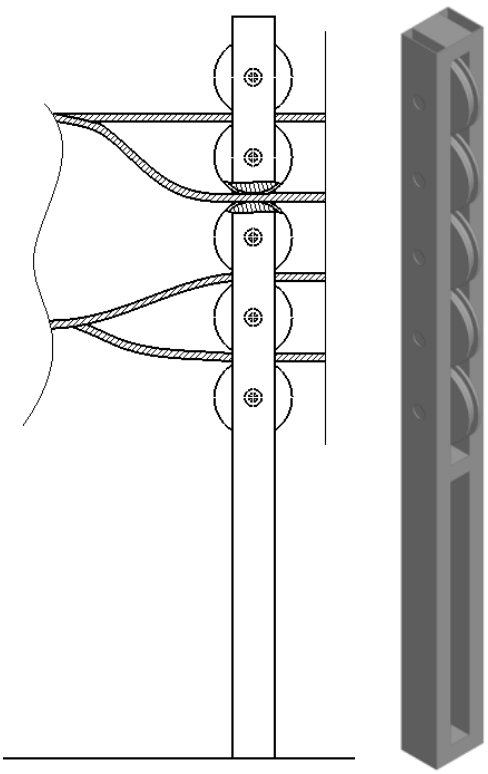


Рис. 3. Рама для удержания тросов на необходимой высоте

Рама для удержания столбиков составная и имеет подвижную и неподвижную часть.

Конструкция неподвижной части представляет собой сваренный из металла каркас. Вторая часть рамы перемещается по рельсам, смонтированным на полу.

Рама сконструирована таким образом, чтобы оператор без затруднений мог осуществить сборку столбиков.

Выводы. Представленные в работе 3D-модели конструкций удерживающей и направляющей рам позволяют получить представление проекта спецтехники для устройства дорожного тросового гибкого ограждения. Данный эскизный проект позволят в дальнейшем провести проверку работоспособности предлагаемого оборудования, а так же провести лабораторные испытания, подтверждающие теоретические расчеты. В направление дальнейших исследований авторы выносят создание методики расчета параметров рабочего оборудования, а так же создание опытного образца.

Литература:

1. Николаевич Ч. В. Конструкция и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: методические указания для выполнения курсовой работы / Ч. В. Николаевич. – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ, 2019. – 51 с.

2. ОДМ 218.6.018–2016 Отраслевой дорожный методический документ рекомендации по правилам применения, устройству и эксплуатации тросовых и комбинированных дорожных ограждений на дорогах общего пользования: дата введения 07.04.2016. – Москва: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР), 2018. – 30 с.

3. ГОСТ 33127-2014. Дороги автомобильные общего пользования . Ограждения дорожные. Классификация: дата введения 2015-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 5 с.

4. ГОСТ 33128-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Технические требования : дата введения 2015-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 8 с.

5. ГОСТ Р 52281-2004. Прицепы и полуприцепы автомобильные. Общие технические требования: дата введения 2006-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2005. – 12 с.

Design of the holding and guiding equipment of the machine for the installation of flexible wire rope barriers on roads

Konshin P.U.[1,a], Pogonina A.M.[1,b]

[1]Moscow Automobile and Road State University, 64, Leningradskii prospect, Moscow, 125319, Russia
[a]konshin.pv@mail.ru, [b]alexandra.pogonina@gmail.com

Keywords: cable fence, guiding equipment, holding equipment, flexible fence, cable, road, special equipment

This work is devoted to an urgent problem - increasing the productivity of the process of installing flexible road barriers and reducing the use of manual labor in the construction and repair of flexible barriers on the road. wire fences. A full description of the designs of the frames being developed is given, 3d models are presented as a visualization. The developed machine is the main one and is included in the complex for the construction, repair and maintenance of road cable barriers. As recommendations, the authors indicate the relevance of developing a methodology for calculating the main parameters of the machine equipment, which can confirm the operability of the structure. It also concludes with directions for further research.

УДК 629.3:629.017

Повышение надёжности автосамосвалов путём мониторинга их загрузки на породных отвалах

Маслов И.Н.[1,a], Комиссаров Н.В.[1,b]

[1]Казанский государственный энергетический университет, Красносельская 51, Казань, 420066, Российская Федерация
[a] ig-mas@mail.com, [b] komissarov_nikita_175@mail.ru

Ключевые слова: автосамосвалы, мониторинг, загрузка, породные отвалы, надежность.

В статье рассматривается проблема повышения надежности автосамосвалов на породных отвалах. Описывается метод мониторинга загрузки автосамосвалов, который позволяет уменьшить вероятность поломок и аварий на дорогах. Результаты исследования показывают, что мониторинг загрузки может быть эффективным инструментом для повышения надежности автосамосвалов.

Введение. Автосамосвалы – это неотъемлемая часть горнодобывающей промышленности и используются для транспортировки грузов на породных отвалах. Однако, высокая нагрузка на автосамосвалы может привести к их поломкам и авариям, что может привести к серьезным последствиям. Для повышения надежности автосамосвалов предлагается использовать метод мониторинга загрузки, который позволит контролировать вес груза и избежать перегрузок.

Теория: Метод мониторинга загрузки автосамосвалов заключается в установке датчиков, которые измеряют вес груза на каждом автосамосвале. Эти данные затем передаются на компьютер, где анализируются и сравниваются с допустимыми значениями. Если вес груза превышает допустимые значения, то система автоматически выключает двигатель автосамосвала, что позволяет избежать поломок и аварий.

Рис. 1. Самосвалы на карьере

Мониторинг загрузки автосамосвалов является эффективным инструментом для повышения надежности автосамосвалов на породных отвалах. Установка датчиков на автосамосвалы позволяет контролировать вес груза и избегать перегрузок, что уменьшает вероятность поломок и аварий. Этот метод также позволяет улучшить эффективность работы автосамосвалов и избежать задержек из-за поломок и ремонтов.

Рис. 2. Загрузка самосвала

Результат. Исследование показало, что метод мониторинга загрузки автосамосвалов может значительно повысить их надежность. Установка датчиков на автосамосвалы позволяет контролировать вес груза и избежать перегрузок, которые могут привести к поломкам и авариям. Кроме того, этот метод позволяет улучшить эффективность работы автосамосвалов, так как избегаются задержки из-за поломок и ремонтов.

Вывод. Метод мониторинга загрузки автосамосвалов является эффективным инструментом для повышения надежности автосамосвалов на породных отвалах. Установка датчиков на автосамосвалы позволяет контролировать вес груза и избегать перегрузок, что уменьшает вероятность поломок и аварий.

Литература:

1. K. J. Kwon, S. H. Park, and H. S. Kim, "Development of a Load Monitoring System for Dump Trucks," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, vol. 27, no. 5, pp. 103-109, 2010.

2. S. H. Lee and S. H. Kim, "Design and Implementation of a Load Monitoring System for Dump Trucks," Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, vol. 32, no. 7, pp. 609-615, 2012.

3. J. H. Park, S. H. Lee, and S. H. Kim, "Development of a Load Monitoring System for Dump Trucks Based on Wireless Sensor Networks," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 9, no. 8, pp. 1-11, 2013.

4. Y. R. Kim and S. H. Kim, "Development of a Load Monitoring System for Dump Trucks Using Accelerometers," International Journal of Control, Automation and Systems, vol. 11, no. 5, pp. 1023-1030, 2013.

5. S. W. Lee and S. H. Kim, "Design and Implementation of a Load Monitoring System for Dump Trucks Based on CAN Bus," Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 23, no. 2, pp. 109-116, 2015.

Improving the reliability of dump trucks by monitoring their loading on rock dumps

Maslov I.N. [1,a], Komissarov.N.V.[1,b]

[1]Kazan State Power Engineering University, Krasnoselskaya 51, Kazan, 420066, Russian Federation.
[a] ig-mas@mail.com, [b] komissarov_nikita_175@mail.ru

Keywords: dump trucks, monitoring, loading, rock dumps, reliability.

The article deals with the problem of increasing the reliability of dump trucks on rock dumps. The method of monitoring the loading of dump trucks is described, which reduces the likelihood of breakdowns and accidents on the roads. The results of the study show that load monitoring can be an effective tool to improve the reliability of dump trucks.

УДК 629.735.35:681.51

Задача управления крылом гидросамолета

Маслов И.Н.[1,a], Комиссаров Н.В.[1,b]

[1]Казанский государственный энергетический университет, Красносельская 51, Казань, 420066, Российская Федерация
[a] ig-mas@mail.com, [b] komissarov_nikita_175@mail.ru

Ключевые слова: гидросамолет, крыло, управление, полет, эффективность.

В данной статье рассматривается задача управления крылом гидросамолета. Описывается принцип работы крыла и его влияние на полет гидросамолета. Рассматриваются различные методы управления крылом и возможности их использования. Результаты исследований показывают эффективность использования различных методов управления крылом гидросамолета.

Введение. Гидросамолеты являются важным средством транспорта на воде и воздухе. Крыло является одной из важных частей гидросамолета, которая влияет на его полет. Для эффективного управления гидросамолетом необходимо управлять крылом с высокой точностью и скоростью. В этом процессе могут использоваться различные методы управления крылом.

Теория. Крыло гидросамолета является основным элементом, который обеспечивает подъемную силу и управление полетом. Крыло состоит из нескольких частей, включая носовую часть, центральную часть и заднюю часть. Каждая часть крыла имеет свои характеристики и параметры.

Рис. 1. Гидросамолет на воде

Для управления крылом гидросамолета можно использовать различные методы. Один из методов - это метод изменения угла атаки крыла, который позволяет изменять подъемную силу крыла. Другой метод - это метод изменения формы крыла, который позволяет изменять подъемную силу и сопротивление крыла.

Рис. 2. Отечественный гидросамолет Бе-200

Результат. Использование различных методов управления крылом гидросамолета позволяет достичь высокой точности и скорости в этом процессе. Эффективность использования различных методов управления крылом зависит от конкретной задачи и условий полета гидросамолета. Однако, использование различных методов управления крылом имеет свои ограничения. Например, изменение формы крыла может привести к изменению центра тяжести гидросамолета, что может повлиять на его полет. Также, изменение угла атаки крыла может привести к изменению подъемной силы, что может повлиять на полет гидросамолета.

Вывод. Управление крылом гидросамолета является важным элементом его полета. Для эффективного управления крылом можно использовать различные методы, которые позволяют достичь высокой точности и скорости в этом процессе. Однако, необходимо учитывать ограничения каждого метода и выбирать наиболее подходящий метод для конкретной задачи.

Литература:

1. J. L. Dugundji, J. F. Hopper. Aerodynamics of the airplane. John Wiley & Sons, 2016.
2. R. H. Liebeck. The design of wing sections. AIAA Journal, 1988.
3. J. D. Anderson. Fundamentals of aerodynamics. McGraw-Hill Education, 2016.
4. J. Katz, A. Plotkin. Low-speed aerodynamics: from wing theory to panel methods. Cambridge University Press, 2001.
5. R. Whitford. Principles of aerodynamics. John Wiley & Sons, 2016.
6. J. K. Barton, R. F. Blackwelder, G. W. Sutton et al. Aerodynamic design of a high-altitude long-endurance unmanned aerial vehicle. Journal of Aircraft, 2004.
7. D. P. Raymer. Aircraft design: a conceptual approach. AIAA Education Series, 2012.
8. J. D. Anderson Jr, C. Eberhardt-Smith, D. Mavris et al. Aircraft conceptual design synthesis: a virtual engineering approach. AIAA Journal, 2003.
9. J. D. Anderson Jr, D. Mavris, C. Eberhardt-Smith et al. Aircraft design synthesis and analysis software. AIAA Journal, 2003.
10. A. Rizzi. Aerodynamic design of transport aircraft. John Wiley & Sons, 2012.

The task of controlling the wing of a seaplane

Maslov I.N. [1,a], Komissarov.N.V.[1,b]

[1]Kazan State Power Engineering University, Krasnoselskaya 51, Kazan, 420066, Russian Federation.
[a] ig-mas@mail.com, [b] komissarov_nikita_175@mail.ru

Keywords: seaplane, wing, control, flight, efficiency.

This article discusses the problem of controlling the wing of a seaplane. The principle of operation of the wing and its effect on the flight of a seaplane is described. Various methods of wing control and the possibilities of their use are considered. The research results show the effectiveness of using various methods of controlling the wing of a seaplane.

УДК 621.9.02

Автоматизация процесса обработки незатвердевших бетонных поверхностей

Куимов О.С.[1,a], Ситов И.С.[1,b], Герасимов С.Н.[1,c]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a] i362047@yandex.ru, [b]rector@brstu.ru, [c]sdm_gerasimov@rambler.ru

Ключевые слова: шлифовка, бетон, отделка, технологический процесс, конструкция, параметры, особенности, инновации, модернизация.

В статье рассмотрены технологические процессы изготовления сборного железобетона, обоснован выбор автоматизированного комплекса для заглаживания незатвердевших бетонных поверхностей, рассмотрена проблема автоматизации вибрационных машин, рассмотрена структура автоматизированного комплекса для отделки, рассмотрены основные способы выравнивания отвердевших поверхностей, рассмотрена конструкция дисковой заглаживающей машины. Определены основные направления развития систем автоматизации технологического процесса заглаживания незатвердевших бетонных поверхностей.

Введение. Строительство зданий и сооружений из сборного железобетона позволяет значительную часть трудовых затрат перенести в цехи постоянно действующих специализированных предприятий и тем самым повысить производительность труда и качество работ.

В настоящее время существуют два направления заводской отделки поверхности изделий: отделка поверхности до термовлажностной обработки изделия, то есть в незатвердевшем виде и отделка поверхности затвердевших изделий. Первый вид отделки наиболее распространен, экономически более целесообразен, так как легко деформируемая поверхность изделия заглаживается до необходимой шероховатости с меньшими затратами. Второе направление используется, главным образом, для целей обработки поверхностей, прилегающих к плоскостям формы. Этот вид отделки обычно сводится к устранению дефектов формования.[1].

Отделка в заводских условиях стеновых панелей до класса А-4 (шероховатость до 0,3-0,6 мм) позволяет высвободить высококвалифицированных рабочих, используемых на стройках в качестве штукатуров. Чистота поверхности изделий крупнопанельного домостроения должна удовлетворять требованиям СниП I-А.4-62.

Цель работы произвести модернизацию отделочной машины. Необходимо к дисковой заглаживающей машине с вибрационным рабочим органом разработать систему контроля давления и контроля шероховатости обрабатываемой поверхности с целью улучшения качества и снижения цены выпускаемой продукции.

1. Технологический процесс изготовления сборного железобетона на ЗКПД АО «КБЖБ»

На заводах сборного железобетона изготовляют изделия и конструкции для жилищного, гражданского и промышленного строительства в широком ассортименте. Это многопустотные и сплошные панели перекрытий, наружных и внутренних стен, ограждений, лестничные площадки и марши, плиты различного назначения, колонны, балки перекрытий, фермы и объемные элементы.

В настоящее время в зависимости от масштабов производства и вида продукции для формования железобетонных изделий используют один из следующих методов: конвейерный, кассетный, конвейерно-кассетный, стендовый, агрегатно-поточный, вибропрокатный, центробежного проката, прессования и др.

Железобетонные изделия изготовляют с помощью формовочного оборудования, которое отличается конструктивным многообразием. Оно представляет собой комплекс машин, механизмов и агрегатов, которые в соответствии с технологически процессом укладывают бетонную смесь, уплотняют её, заглаживают поверхность свежеотформованного изделия. В состав формовочных установок входит различное вспомогательное оборудование: транспортирующее устройство для подачи форм, устройства для их распалубки и др. Уровень механизации и автоматизации процессов формования зависит от принятого метода производства. Основные формовочные операции по укладке и уплотнению бетонной смеси при любом методе производства железобетонных изделий выполняют специальные машины и установки. В то же время многие подготовительные и транспортные операции требуют ручного труда. Это сдерживает решение вопросов комплексной механизации и автоматизации производства железобетонных изделий, устраняющих тяжелый ручной труд и позволяющих исключить дефицит трудовых ресурсов. Положительную роль здесь призвана сыграть автоматика. Комплексная автоматизация формовочных линий на базе автоматизации отдельных операций с одновременным совершенствованием технологии производства и конструктивных решений позволяет создать высокоэффективные автоматизированные комплексы для формования железобетонных конструкций и изделий. Автоматизация процессов их производства также дает возможность решать вопросы внедрения гибких технологий и создания гибких автоматизированных линий по выпуску стеновых панелей, перегородок, панелей перекрытий и других изделий.

На многих заводах сборного железобетона используются конвейерные линии для производства панелей наружных стен, панелей перекрытий, блоков стен подвалов, плоских изделий различного назначения для промышленного и гражданского строительства.[2] Этот метод производства имеет ряд существенных преимуществ, способствующих механизации и автоматизации всех процессов. Поточный принцип организации выполнения всех операций по замкнутому циклу обеспечивает общий заданный ритм работы всех агрегатов на отдельных постах. В настоящее время конвейерное производство нуждается в совершенствовании технологии, повышении её гибкости и комплексной автоматизации. Анализ возможностей использования промышленных роботов и манипуляторов на конвейерных линиях по изготовлению железобетонных изделий показывает, что есть большая группа основных и вспомогательных операций, где применение роботов и манипуляторов экономически оправдано. К таким операциям относятся распалубка, сборка, переоснастка, чистка и смазка форм, укладка облицовочной плитки, удаление отходов производства. Это в основном ручные операции, на которых используют вспомогательные механизмы и средства малой механизации, такие, как пневмоскребок, удочка-распылитель и др. Существующие устройства механизации закрытия бортов СМЖ-453 не позволяют полностью механизировать этот процесс и имеют невысокую надежность.

Приведенные натурные обследования конвейерного производства заводов крупнопанельного домостроения, системный и технико-экономический анализ показывают, что подготовительные, заглаживающие и распалубочные операции целесообразно автоматизировать с помощью специальных автоматизированных комплексов. Внедрение автоматики на отдельных операциях ведет к повышению производительности труда и является весьма перспективным [3].

2. Обоснование выбора автоматизированного комплекса для заглаживания незатвердевших бетонных поверхностей

Современное домостроение предъявляет высокие требования к отделке поверхности изделий сборного железобетона. Однако в настоящее время технология отделочных работ отличается еще низким уровнем механизации, значительно отстающим от процессов формования изделий. Большинство операций по отделке выполняется вручную, и их качество зависит от квалификации и добросовестности отделочников. На долю отделочных операций, на заводах крупнопанельного домостроения приходится до сорока процентов трудозатрат.

В связи с этим необходимо в ближайшие годы совершенствовать и разработать новую технологию отделки панелей, создать новые высокоэффективные машины и механизмы, обеспечивающие различные виды отделки и переход на автоматизированные линии с гибкой технологией. Внедрение на заводах сборного железобетона автоматизированных линий с гибкой технологией, обеспечивающих до 6-8 видов отделки, позволяет достичь разнообразия в архитектурно-художественном оформлении жилых комплексов.

Прогрессивным направлением совершенствования отделочных операций является внедрение комплексной автоматизации и манипуляторов. Это даст возможность избавиться от ручных операций на многих видах отделки, перейти к комплексной автоматизации созданию автоматизированных линий с гибкой технологией по отделке панелей на домостроительном комплексе. В связи с дальнейшим повышением заводской готовности стеновых панелей автоматизация отделочных работ приобретает первостепенное значение.

На отделочном конвейере осуществляется целая группа операций: очистка наружной поверхности от бумаги и клея, обнажение декоративного заполнителя, промывка теплой водой, перетирка наружных и внутренних откосов, установка дверных и оконных блоков и наличников, установка сливов и подоконников, окраска наружных откосов, нанесение декоративных покрытий. Для их комплексной автоматизации наиболее целесообразно иметь в составе отделочного конвейера четыре поста, оснащенных автоматизированным комплексом: очистки и доводки поверхностей, установки столярных изделий, герметизации зазоров, нанесения декоративных покрытий. Это позволяет создать гибкую технологию отделочных работ.

3. Автоматизация вибрационных машин

Отличительной особенностью большинства вибрационных машин является кинематическая неопределенность движения их рабочих органов. Это значит, что закон движения рабочего органа зависит от динамических факторов: реакций присоединяемых к нему масс и жесткостей, а также диссипативных сопротивлений, возникающих при его движении. Такая особенность делает машину чувствительной к изменениям условий работы и в некоторых случаях повышенной чувствительности (например, у резонансных вибромашин) может привести к нарушению нормального режима. Но, с другой стороны, эта особенность делает вибрационные машины подходящим объектом автоматического регулирования, так как, во-первых, чем выше чувствительность объекта регулирования, тем меньшая мощность требуется для перевода его из одного режима в другой. Во-вторых, в ряде случаев, используя динамические особенности регулируемой вибромашины можно существенно упростить систему автоматики.

Автоматизация производственных процессов стала настоятельной необходимостью. Она дает возможность уменьшить количество обслуживающего персонала, повысить производительность оборудования, улучшить условия труда, повысить качество выполняемой работы. При наличии системы автоматического регулирования можно реализовать очень выгодные, но неустойчивые в обычных условиях режимы работы вибрационных машин. Помимо автоматизации технологического режима в ряде случаев актуальны задачи автоматизации привода, например запуска машин, проходящих через промежуточные резонансы, или обеспечение заданной разности фаз двух или нескольких

вибровозбудителей, приводящих в колебания один рабочий орган, а также автоматизация контроля качества выполняемой работы.

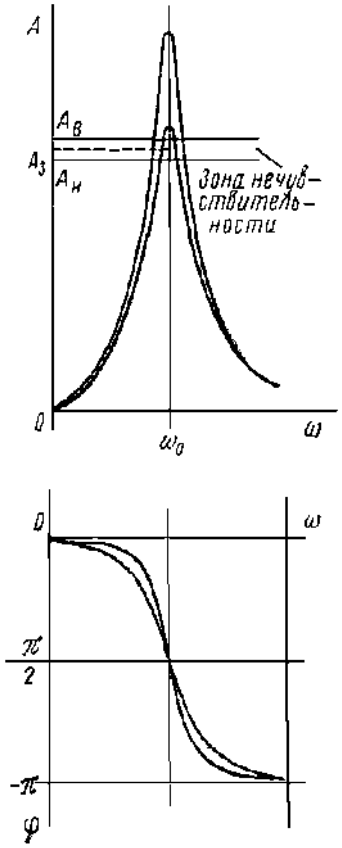


Рис. 1. Структура РТК для отделки панелей наружных стен

Больших количественных и в особенности качественных результатов можно ожидать от автоматизации процессов вибрационного уплотнения бетонных смесей, вибрационного формования железобетонных и бетонных изделий, вибрационного грохочения, вибрационного помола и др. В полной мере автоматизация работы вибромашин может быть использована лишь в системе комплексной автоматизации производства.

При автоматизации резонансных вибрационных машин могут ставиться различные задачи, в частности, удержание системы в резонансе при изменяющихся внешних условиях либо поддержание амплитуды перемещения, скорости или ускорения рабочего органа на заданном уровне. В последнем случае необходимо также задать режим работы машины – дорезонансный или зарезонансный, так как одно и то же значение амплитуды регулируемого параметра может быть осуществлено как при первом, так и при втором режиме (рис.1). Помимо номинального значения амплитуды Аз задают также допустимые пределы ее изменения – верхний Ав и нижний Ан. интервал между этими пределами называют зоной нечувствительности в случае, применена система автоматики, не чувствующая изменения регулируемого параметра внутри этой зоны и не реагирующая на него. Контроль настойки можно производить по фазночастотной зависимости, поскольку угол сдвига фазы перемещения относительно фазы вынуждающей силы близок к $\pi/2$ при резонансе. В действительности этот угол несколько отличается от $\pi/2$, но при небольших демпфированиях различия невелики.

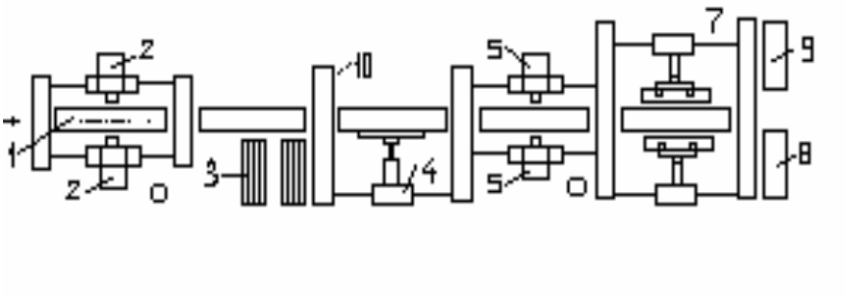


Рис. 2. Схема

4. Структура автоматизированного комплекса для отделки поверхностей наружных стен

1. Панель;
2. Автоматы для очистки и затирки поверхности;
3. Контейнеры с оконными и дверными блоками;
4. Автоматы для установки блоков;
5. Автоматы для заделки зазоров;
6. Автоматы для установки подоконника и слива;
7. То же, что и 6;
8. Контейнеры;
9. То же, что и 8;
10. Опорные фермы.

5. Заглаживание открытых поверхностей свежеотформованных изделий

Основной способ выравнивания открытых поверхностей изделий в процессе формования – укладка растворного слоя на конструктивный бетон с последующим механическим выравниванием этого слоя. [4].

Основные способы выравнивания отвердевших поверхностей – нанесение на поверхности отделочного растворного состава с последующей механической затиркой или механическая обработка поверхности абразивным инструментом.

Выравнивание поверхности изделий в процессе формования более эффективно потому, что поверхность растворной (бетонной) смеси легко поддается обработке до необходимой чистоты при значительно меньшей трудоемкости (до 5 раз) по сравнению с обработкой затвердевшего бетона.

При горизонтальном формовании открытая поверхность получается ровной за счет свойств бетонной смеси (наличие фактурного слоя, соответствующий подбор подвижности смесей и крупности заполнителя и др.) и принятого способа заглаживания.

Несмотря на то, что бетонная (растворная) смесь сравнительно просто поддается механической обработке, для повышения повышенной или полной заводской готовности открытых поверхностей следует соблюдать целый ряд технологических требований.[5].

Наилучшее качество поверхности достигается при комплексном применении самоходных отделочных машин. При этом рейка разравнивает верхний слой смеси, калибрует (выравнивает по толщине) и предварительно заглаживает поверхность. Валок обрабатывает поверхность изделия за два прохода: при первом выдавливает растворную смесь и втапливает крупный заполнитель; при втором, вращаясь в противоположном направлении, собирает и разжижает растворную смесь, перераспределяя его и создавая ровную, откалиброванную поверхность. С помощью диска получается гладкая, с минимальной шероховатостью, поверхность изделия. Диск перемещается с помощью

электрических (пневмогидравлических) устройств, смонтированных на каретке, которыми можно регулировать давление на обрабатываемую поверхность.

6. Система автоматического управления, устанавливаемая на дисковую заглаживающую машину.

Дисковая заглаживающая машина представляет собой дисковую мостовую машину, предназначенную для заглаживания незатвердевшей поверхности железобетонных изделий сложной конфигурации с выступающими закладными элементами.

Машину целесообразно применять в том случае, когда необходим хороший доступ к форме в процессе заглаживания.

Конструктивно машина выполнена в виде пространственной рамы-моста, передвигающегося по рельсовому пути на четырех колесах, два из которых имеют электромеханический привод.

В специальных направляющих имеющихся на мосту смонтирована передвигающаяся каретка. На каретке укреплен рабочий орган, механизм подъема-опускания и механизм вращения диска.

Управление машиной осуществляется с подвесного кнопочного пульта, а в крайних положениях механизмы машины отличаются конечными выключателями.

Спереди и сзади диска (по ходу движения машины) установлены две дуги, с помощью которых через электроблокировку останавливается конвейер и механизм передвижения машины в случае, когда диск остановлен в положении более низком, чем высота следующей формы, а также в случаях проявления препятствия между диском и формой.

Краткая техническая характеристика мостовой машины:

- Максимальная ширина заглаживаемых изделий, мм – 2800;
- Диаметр диска, мм – 1100/300;
- Скорость движения диска, об/мин – 190;
- Давление рабочего органа на бетон, г/см^2;
- Мощность привода диска, кВт – 10;
- Конструкция рабочего органа – со сменным днищем;
- Материал диска – сталь 3;
- Величина хода механизма подъема-опускания диска, мм – 300;
- Крепление диска на приводном валу – скользящее;
- Скорость передвижения каретки, м/мин – 4,48;
- Скорость передвижения машины, м/мин – 8,2;
- Радиус кругового движения, мм – 0-250;
- Общая установленная мощность электродвигателя, кВт – 14,4;
- Производительность заглаживания, мин/изд. – 3-5;
- Размеры машины, мм – 2700*2245*5340;
- Вес, кг – 2900;

По окончанию формования изделия (из керамзитобетона) на него укладывается и разравнивается специальным укладчиком фактурный мелкозернистый слой. Затем конвейер передвигается на один такт вперед, и изделие поступает на пост заглаживания. Если изделие не имеет проемов, то операция заглаживания следующая: диск опускают на один из углов изделия, включают механизм передвижения каретки и вращения диска и диск совершает первый проход вдоль борта. По окончании прохода вся машина передвигается на величину равную приблизительно 0,8 диаметра диска, а затем включают механизм передвижения каретки в обратную сторону и т.д.

Возможен другой способ заглаживания, когда вдоль борта фермы, диск заглаживает при помощи механизма передвижения машины, а поперечный сдвиг производится перемещением каретки.

В случаях, когда изделие имеет дверные или оконные проемы, заглаживание осуществляется передвижением каретки вдоль одного борта, затем перемещением машины вдоль второго борта и снова перемещением каретки в обратную сторону вдоль третьего борта.

В процессе продолжительной эксплуатации машины было установлено, что качество заглаженной поверхности во всех случаях соответствовало требованиям класса 3-ш, а во многих случаях даже класса 4-ш.

Кроме того, в процессе заглаживания дисковый рабочий орган дополнительно уплотняет фактурный слой, что делает его более прочным и способствует лучшему сцеплению с основной массой изделия.

Для заглаживания изделий, имеющих сложную конфигурацию в плане, а также закладные элементы и борта форм, выступающие выше уровня изделия машина взамен дискового рабочего органа может оборудоваться рабочим органом с переменным радиусом действия, автоматически складывающимся при ударе о выступающие предметы. Этот рабочий орган состоит из диска диаметром 0,3 м с приводом его вращения. Диск смонтирован на шарнирно-укрепленном рычаге, имеющим привод его поворота относительно оси моста. В приводе имеется упругая связь. Перечисленные узлы крепятся на раме, прикрепленной к вертикальному приводному валу машины. Подача электроэнергии к приводу осуществляется через щетки и кольца.

В процессе работы включается привод вертикального вала машины и привод вращения диска, при этом последний совершает два движения, собственное вращательное и круговое относительно оси вертикального вала. Изменяя положение рычага при помощи привода можно в процессе заглаживания изменять ширину обрабатываемой полосы и таким образом обходить закладные элементы.

Заглаживающая машина имеет ряд существенных недостатков:

- Большое транспортное запаздывание;
- Система управления устарела и не справляется с поставленными современным обществом задачами;
- Управление процессом осуществляется нерационально и сопровождается значительными затратами.

Эти проблемы можно решить с помощью использования современных элементов автоматики. Ими являются:

- датчки давления, износа, тока, датчикb шероховатости, акустические датчики;
- электронный блок управления;
- электрическое сигнальное устройство для определения опасной величины износа рабочего органа.

Внедрение системы контроля и управления технологическим процессом позволит снизить затраты, себестоимость продукции, повысить производительность, повысить качество получаемой продукции.

Литература:

1. Мамаев Л. А. Диссертация Методология совершенствования теории взаимодействия рабочих органов бетоноотделочных машин с поверхностью обрабатываемых сред. ВАК 2006. – 455 с.

2. Болотный, А.В. К вопросу уравновешивания брусовых заглаживающих машин / А.В. Болотный, А.Ф. Фарах, Л.А. Мамаев // Повышение эффективности использования машин в строительстве. Л., 1978. -С. 16-19.

3. Болотный, А.В. Заглаживание бетонных поверхностей / А.В. Болотный. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. - 128 с.

4. Мамаев Л.А., Ереско С.П., Ереско Т.Т., Вестник сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика Ф.М. Решетнева. 2015. – с. 57-60.

5. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – Машиностроение, 1987. - 288с.

Automation of the processing of uncured concrete surfaces.

Kuimov O. S.[1,a], Sitov I. S.[1,b], Gerasimov S. N.[1,c]

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia
[a] i362047@yandex.ru, [b]rector@brstu.ru, [c]sdm_gerasimov@rambler.ru

Keywords: grinding, concrete, finishing, technological process, design, parameters, features, innovations, modernization.

The article considers the technological processes of precast concrete manufacturing, justifies the choice of an automated complex for smoothing uncured concrete surfaces, considers the problem of automation of vibration machines, considers the structure of an automated complex for finishing, considers the main ways of leveling hardened surfaces, considers the design of a disk smoothing machine. The main directions of the development of automation systems for the technological process of smoothing uncured concrete surfaces are determined.

УДК 621.311

Изучение процессов термообработки незатвердевших бетонных поверхностей

Мамаев Л.А.[1,a], Герасимов С.Н.[1,b], Федоров В.С.[1,c], Юсупов Ю.К.[1,d]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[b]sdm_gerasimov@rambler.ru, [c]fedorov.v.s@yandex.ru, [d]yusuf.yusufov.1996@mail.ru

Ключевые слова: тепловая обработка, электропрогрев, контактный нагрев, дисковый рабочий орган.

Представлен новый метод обработки бетонных поверхностей – заглаживание с дополнительной термообработкой незатвердевшей бетонной поверхности. Метод термообработки обладает мобильностью и простотой, технологичностью и эффективностью, сравнительно низкими потребными мощностями и расходом энергии и имеет различные модификации. Одним из перспективных методов термообработки бетона является контактный метод. Контактный (кондуктивный) нагрев обеспечивает передачу энергии от искусственно нагретых материалов или тел прогреваемому бетону путем непосредственного контакта между ними. В качестве контактного нагрева на кафедре БрГУ коллективом авторов предложен дисковый рабочий орган с нагревательными элементами, что позволяет получить ускорение набора прочности бетона, улучшаются реологические характеристики смеси, ускоряется темп твердения материала на ранних стадиях, повышается водоудерживающая способность и уменьшается расслаиваемость изделия.

Тепловая обработка незатвердевших бетонных поверхностей является одним из наиболее длительных и ответственных процессов в технологии их производства. Сущность ее состоит в том, что при сильном нагреве до 80-100 °С скорость реакции гидратации вяжущих веществ увеличивается. Тепловая обработка является практически единственным способом ускорения твердения бетона в зимнее время (без использования химических добавок) и обеспечивает достижение прочности бетонных конструкций.

Специфика климатических условий нашей страны затрудняют развитие монолитного строительства. Значительная часть территории России расположена в зонах с суровыми климатическими условиями. В Иркутской области из 12 месяцев в году в течение 7 месяцев сохраняется неблагоприятный температурный режим для твердения бетона (зимние условия) [1].

Известно, что при температуре ниже 0˚С химически несвязанная вода превращается в лед и увеличивается в объеме приблизительно на 9%. В результате чего, в бетоне возникают напряжения, разрушающие его структуру. Замерзший бетон обладает высокой прочностью, но только за счет сцепления замерзшей воды. При оттаивании процесс гидратации цемента возобновляется, но из-за нарушений структуры бетон не может набрать проектной прочности, т.е. его прочность значительно ниже, чем прочность бетона, не подвергавшегося замерзанию. Известно, что на процесс набора прочности бетона существенно влияют условия твердения. Если бетон до замерзания наберет 30–50% прочности от проектной, то дальнейшее воздействие низких температур не влияет на его физико-механические характеристики [2].

Таким образом, за счет создания благоприятных условий твердения бетона в начальный период получают конструкции требуемого качества.

В современном строительстве на протяжении ряда лет ведутся разработки в области технологии бетонирования в зимний период, а именно прогрева бетона [3].

С целью повышения прочностных характеристик бетона были проведены исследования по термообработки не застывшей бетонной смеси. В настоящее время разработано и освоено множество методов термообработки, различающихся по способу теплоподвода к твердеющему бетону.

Самый распространенный из методов термообработки – электропрогрев – обладает мобильностью и простотой, технологичностью и эффективностью, сравнительно низкими потребными мощностями и расходом энергии и имеет различные модификации.

Подача тепла может происходить или непосредственно в материале, когда электрический ток пропускается через бетон, или в различного рода электронагревательных устройствах, от которых тепло подводится к бетону радиационно, кондуктивно или конвективно.

Одним из перспективных методов термообработки бетона является контактный метод. Контактный (кондуктивный) нагрев обеспечивает передачу энергии от искусственно нагретых материалов или тел прогреваемому бетону путем непосредственного контакта между ними.

Большинство машин с дисковыми рабочими органами производят заглаживание без применения термической обработки. На кафедре СДМ БрГУ коллективом авторов предложено техническое решение, направленное на повышение качества обработки дисковым рабочим органом незатвердевших поверхностей бетонных изделий, отформованных из пластичных бетонных смесей.

Доля дисковых бетоноотделочных машин в общей массе производимых и эксплуатирующихся машин существенно превышает 70%. Это объясняется тем, что дисковые рабочие органы таких машин обладают высокой заглаживающей способностью, которая определяет интенсивность воздействия рабочего органа на обрабатываемую бетонную поверхность [4,5]. Данное преимущество дисковых рабочих органов позволяет

вести обработку поверхностей изделий, отформованных из жёстких и особо жёстких бетонных смесей, с высоким качеством, не ниже класса 3Ш. К настоящему времени известны многочисленные конструктивные варианты исполнения безвибрационных и вибрационных дисковых рабочих органов, предназначенных для обработки незатвердевших поверхностей жёстких бетонных смесей. Однако, если изделие отформовано из пластичной бетонной смеси, то качество обработки его поверхности данными рабочими органами является чрезвычайно низким, не выше класса 2Ш [6,7]. В связи с чем, разработка конструкций дисковых рабочих органов, позволяющих обрабатывать с высоким качеством незатвердевшие поверхности пластичных бетонных смесей, является достаточно актуальной.

После укладки пластичной бетонной смеси и последующего ее виброуплотнения, некоторая часть избыточной воды отделяется и выступает на поверхность свежеуложенного бетона в виде цементного водопесчаного молочка, образуя тонкие слои и пленки, тем самым ослабляя связь цементного раствора с заполнителем. При последующем движении рабочего органа бетоноотделочной машины по незатвердевшей бетонной поверности, цементное водопесчаное молочко, в силу его незначительной вязкости, разбрызгивается рабочим органом по обрабатываемой поверхности, что приводит к существенному росту ее шероховатости и снижает качество обработки поверхности [7,8].

Технический результат достигается тем, что дисковый рабочий орган бетоноотделочной машины содержит приводной вал, который передает крутящий момент на заглаживающий диск, в углублениях которого расположены нагревательные элементы, выделяющие тепло и, тем самым, позволяющие удалить избыточную воду с обрабатываемой бетонной поверхности.

Результатом термообработки активируемой бетонной смеси является ускорение набора прочности бетона, улучшаются реологические характеристики смеси, ускоряется темп твердения материала на ранних стадиях, повышается водоудерживающая способность и уменьшается расслаиваемость изделия. За счет возможности регулирования интенсивности теплового воздействия, предлагаемый дисковый рабочий орган бетоноотделочной машины расширяет спектр возможностей рабочего оборудования заводов железобетонных изделий.

Заключение. Преимуществом такой конструкции является реализуемое ею дополнительное термическое воздействие на обрабатываемую поверхность бетонного изделия с возможностью регулирования интенсивности теплового воздействия, что позволяет удалить с обрабатываемой поверхности избыточную воду, за счет чего повысить качество обработки поверхности и обеспечить получение высокопрочного поверхностного слоя изделия.

Литература:

1. Постановление от 05 октября 2009 года N 265/44-пп. Об определении сроков наступления сезонов года на территории Иркутской области.

2. Сокова С.Д. «Зимнее бетонирование монолитных конструкций», Москва, 2013г., 56с.

3. Д. Г. Имайкин, Р. А. Ибрагимов, М. М. Мартынов, А.Р. Сунгатуллина Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с применением термоактивной опалубки./ Вестник КГТУ, №24, 2014г. –с.96-99

4. Болотный А. В. Заглаживание бетонных поверхностей. Стройиздат, 1979. С. 128.

5. Болотный А. В. Теория и процессы заглаживания бетонных поверхностей. ЛИСИ, 1975. – 55 с.

6. Мамаев Л.А., Кашуба В.Б., Кононов А.А., Герасимов С.Н. Экспериментальные исследования в области обработки бетонных поверхностей. Братский государственный университет, 2006 – 146с.

7. Мамаев Л.А. Взаимодействие вибрационных рабочих органов машин с поверхностью бетонных смесей. Иркутский гос. техн. ун-т, 2005 – 123с.

8. Мамаев Л.А., Герасимов С.Н., Фёдоров В.С., Инновационные технологии обработки поверхностей бетонных изделий. Строительные и дорожные машины 2010 - №3 – с. 8-12

Study of heat treatment processes of uncured concrete surfaces

Mamaev L.A.[1,a], Gerasimov S.N.[1,b] Fedorov V.S.[1,c], Yusupov Yu.K.[1,d]

[1]Bratsk State University, st. Makarenko 40, Bratsk, Russia Federation
[b]sdm_gerasimov@rambler.ru, [c]fedorov.v.s@yandex.ru, [d]yusuf.yusufov.1996@mail.ru

Keywords: heat treatment, electric heating, contact heating, disk working body.

A new method of processing concrete surfaces is presented – smoothing with additional heat treatment of an uncured concrete surface. The heat treatment method has mobility and simplicity, manufacturability and efficiency, relatively low power requirements and energy consumption, and has various modifications. One of the promising methods of concrete heat treatment is the contact method. Contact (conductive) heating provides the transfer of energy from artificially heated materials or bodies to the heated concrete by direct contact between them. As a contact heating at the BrSU department, a team of authors proposed a disk working body with heating elements, which allows to accelerate the strength gain of concrete, improve the rheological characteristics of the mixture, accelerate the rate of hardening of the material in the early stages, increases the water-holding capacity and reduces the delamination of the product.

УДК 621.365.5:669

Совершенствование технологии индукционного нагрева цистерн с вязкими нефтепродуктами

Ереско С.П.[a], Куренкин А. С.[b], Палкин А. С.[c], Пестов В. В.[d], Симаков А. А.[e], Станкевич И. Д.[f], Угрюмов А. В.[g]

[1]Государственная Корпорация по космической деятельности «Роскосмос» (Госкорпорация «Роскосмос»)
[2]Акционерное общество «Центральное Конструкторское Бюро «Геофизика» (АО «ЦКБ «Геофизика»), ул. Киренского, 89, г. Красноярск, 660041, Россия
[a]eresko07@mail.ru

Ключевые слова: анализ, рациональный выбор, автоматизация, оптимальные режимы резания, эффективность, программный продукт, композиционные материалы.

Приведены результаты модернизации и совершенствования элементов оборудования для индукционного нагрева цистерн с вязкими нефтепродуктами для повышения эффективности их слива с целью сокращения простоев цистерн и совершенствование технологии индукционного нагрева цистерн применением плоских индукторов, позволяющих увеличить площадь индукционного нагрева.

Необходимость разогрева как темных нефтепродуктов: мазутов, парафинистых нефтей, моторных и трансформаторных масел, так и светлых нефтепродуктов, например, дизельного топлива во время железнодорожных перевозок в зимние время обусловлена их

переохлаждением, которое для некоторых светлых нефтепродуктов, таких как дизельные топлива летних марок, сопровождается изменением их эксплуатационных характеристик, вплоть до потери кондиции и практически для всех нефтепродуктов неизменно сопровождающееся повышением их вязкости, что зачастую затрудняет и даже делает невозможным их слив самотеком, без предварительного разогрева нефтегруза для восстановления текучести. Повышение эффективности железнодорожных перевозок вязких наливных грузов при низких температурах воздуха неразрывно связана с обеспечением возможности и снижением их себестоимости обоснована тем, что большинство предприятий РФ, обеспечивающих добычу и переработку нефти, находятся на Севере и Северо-Востоке страны. Для этих регионов характерны низкие среднегодовые температуры воздуха и большие расстояния до потенциальных потребителей продукции, что обуславливает длительность перевозок в 7-15 суток. Для доставки вязких нефтепродуктов обычно используют вагоны-цистерны, снабженные средствами разогрева продукта в пунктах выгрузки или цистерны-термосы, имеющие тепловую изоляцию котла. Для них характерен большой (до 50%) порожний пробег. Слив с разогревом является продолжительной, энергозатратной и трудоемкой операцией, а установка тепловой изоляции на котел вагона-цистерны ведет к удорожанию как изготовления, так и эксплуатации самих цистерн на 5-7 %. Все это повышает стоимость перевозок вязких нефтепродуктов. Снижение себестоимости железнодорожных перевозок вязких нефтепродуктов имеет особое значение, для Красноярского края, имеющего собственные месторождения и количество перевозимых нефтепродуктов, составляющее сотни миллионов тонн в год, так и тем, что они являются средствами, обеспечивающими деятельность промышленных предприятий, транспорта и коммунального хозяйства большинства населенных пунктов [1].

На современном этапе развития нефтедобывающей промышленности в Российской Федерации функционируют 11 крупных предприятий, которые обеспечивают порядка 91 % всего объема добычи нефти. В отрасли действуют 28 крупных нефтеперерабатывающих заводов с мощностью свыше 1 млн.т/год и большое количество мини-НПЗ по производству масел. В 2016 году добычу нефти осуществляли около 290 организации, имеющих лицензии на право пользования недрами. Географическими центрами роста нефтедобычи в Российской Федерации в последние десятилетия стали два региона: новые нефтедобывающие районы Восточной Сибири и Дальнего Востока, которые расположены в малонаселенных районах с холодным континентальным климатом, что в свою очередь создает значительные трудности для перевозочного процесса в холодное время года. В работе [2] рассматривается нетрадиционный способ снижения себестоимости транспортировки ВНП (на примере котельного мазута марки М100) за счет рационального использования, как его физических свойств, так и особенностей конструкций вагона-цистерны. Нефтепродукт предлагается перевозить в устойчивом, но неравновесном, так называемом стратифицированном состоянии. При этом плотность ВНП в нижней части котла вагона-цистерны постоянно поддерживается большей, чем в верхней его части. В этом случае сходит на нет естественная конвекция горячего жидкого нефтепродукта на холодных стенках котла. Конвекция особенно интенсивная в первые 15–20 часов после налива ВНП в котел цистерны, когда температура нефтепродукта велика, а вязкость мала. Конвективный теплоперенос является основным механизмом охлаждения нефтепродукта внутри вагона-цистерны, его молекулярная теплопроводность, очень мала. Перевод горячего ВНП в стратифицированное состояние осуществляется на стадии заполнения котла вагона-цистерны и достигается следующим образом. Авторами разработан новый вариант установки сливного прибора на котел вагона-цистерны [3] при котором уплотнительная манжета, выполненная из масло и бензостойкой резины тепло изолируется от наливаемого горячего нефтепродукта.

Мероприятие позволяет повысить исходную температуру ВНП при наливе до +120…130 оС, т.е. до уровня значительно превышающего температуру кипения воды при

нормальных условиях. Тогда налив ВНП можно одновременно совмещать с охлаждением нижней половины котла вагона-цистерны. Объем свободного пространства между парообогревательным кожухом и стенкой котла вагона-цистерны приблизительно составляет 4 м³, кроме того, он имеет патрубки для сброса пара в атмосферу. Если этот объем предварительно заполнить водой, то вода, при наливе ВНГ закипает, превращаясь в пар.

Кипение сопровождается поглощением большого количества теплоты, забираемой от наливаемого нефтепродукта. Образующийся пар сбрасывается в атмосферу, а наливаемый мазут охлаждается до температуры +50…+60 оС. Это охлаждение происходит только в нижней половине котла вагона-цистерны. Температура мазута в верхней его половине остается на уровне +120…130 оС. Как видно из Рис. 2 с понижением температуры до 80 оС плотность мазута увеличивается на 4–5 %. Нефтепродукт оказывается в стратифицированном состоянии. Другими широко применяемыми ВГ, являются технические масла. По специфике применения они подразделяются на моторные, индустриальные, компрессорные, трансмиссионные, турбинные и др. [4]. Моторные масла в свою очередь делятся на авиационные (ГОСТ 21743-76), дизельные, автомобильные (ГОСТ 1862-63) и автотракторные. Данные масла переходят в вязкое состояние при температурах: авиационные - минус 14 - 18 ^{o}C, дизельные - минус 10 - 25 ^{o}C, автотракторные - минус 5 - 25 оС. Наиболее важным параметром, определяющим трудности с выгрузкой вязких нефтепродуктов является низкая температура их вспышки, при которой пары жидкого нефтепродукта возгораются от контакта с открытым огнем. Для всех перечисленных вязких нефтепродуктов температура вспышки находится в следующих интервалах: флотских мазутов от плюс 45 до плюс 120 оС, у котельных мазутов плюс 80 - 125 оС, у вязких битумов от плюс 200 до 220 оС . Эти характеристики значительно затрудняют применение устройств электроразогрева. В зависимости от температурных условий применения дизельных топлив (ДТ) по ГОСТ 305-2013 подразделяются на летнее (ДТл), зимнее (ДТз) и арктическое (ДТа). Имеются четыре марки летних, четыре зимних и две марки арктического топлив, все они отличаются друг от друга содержанием серы и температурами вспышки. Летние топлива перевозятся и эксплуатируются при температурах воздуха выше 0 ^{o}C, зимние допускают охлаждение до температур выше минус 30 ^{o}C, а арктические - до температур минус 50 ^{o}C. Низкотемпературные свойства дизельных топлив проявляются не столько в росте их вязкости, сколько в необратимом эффекте фазового расслоения. С понижением температуры в дизельном топливе выделяется твердая фракция н-парафинов, содержание которых в летних топливах доходит до 20 %. При фазовом расслоении в топливе нарушается баланс между входящими в него присадками, что резко ухудшает его эксплуатационные характеристики вплоть до потери кондиции. После длительного нахождения дизельного топлива в вагоне-цистерне, перевозимого при низких температурах окружающей среды, оно может оказаться непригодным для эксплуатации. Зимние и арктические марки дизельных топлив могут перевозиться и эксплуатироваться в зимнее время, но себестоимость их изготовления велика и их выпуск постоянно сокращается ввиду низкой рентабельности производства [5].

Задачей коллектива АО «ЦКБ «Геофизика», выигравшего грант Краевого фонда науки по заданию Красноярской железной дороги, являлась интенсификация выгрузки загустевающих моторных масел. Для таких продуктов, имеющих сравнительно высокую вязкость может применяться совершенно иной авторский способ повышения эффективности использования вагонов, как тары введением внутрь емкости изолирующих пакетов с обеспечением возможности саморазогрева продукта в процессе перевозки [6]. В данной работе приводится описание экспериментальных исследований по созданию эффективного инструмента индукционного нагрева цистерн с вязкими нефтепродуктами для их разогрева при сливе.

Разработка конструкции индуктора для нагрева котла цистерны включала следующие этапы:

1. Спроектирован и изготовлен монтажный стол для осуществления процесса намотки индуктора, макет согласующего устройства (Рис.1) и загрузка в виде стального листа (Рис.2.)

Рис. 1. Макет согласующего устройства для монтажного стола

Рис.2. Загрузка в виде стального листа для монтажного стола

2. Изготовлен макет плоского индуктора 1600мм х 950мм ,47 витков из одного провода ЛЭЛО 1075х0,071. (Рис.3) и показан процесс его намотки (Рис.4).

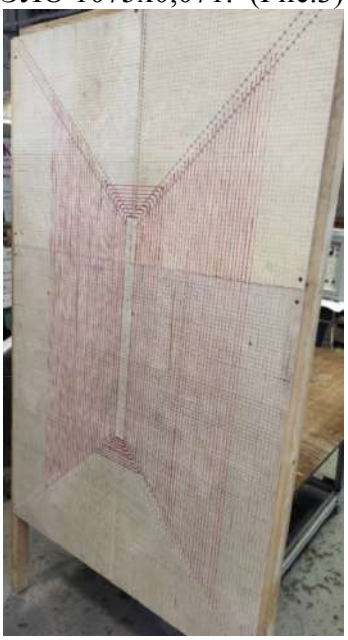


Рис.3. Макет плоского индуктора

Рис.4. Процесс намотки провода на индуктор

Вследствие большой площади и индуктивности индуктора возникло значительное изменение свойств металла при приложении напряжения разной величины. Данные, полученные при измерениях низковольтной аппаратурой, не соответствовали экспериментальным данным. Максимальная замеренная мощность генератора, отдаваемая в нагрузку составила 3,5кВт, что явно недостаточно.

3. Далее был изготовлен макет плоского индуктора, состоящего из 9 концентрических индукторов 370мм х 330мм ,16 витков из одного провода ЛЭЛО 1075х0,071 (Рис.5). Схема подключения 9 концентрических индукторов (Рис. 6):

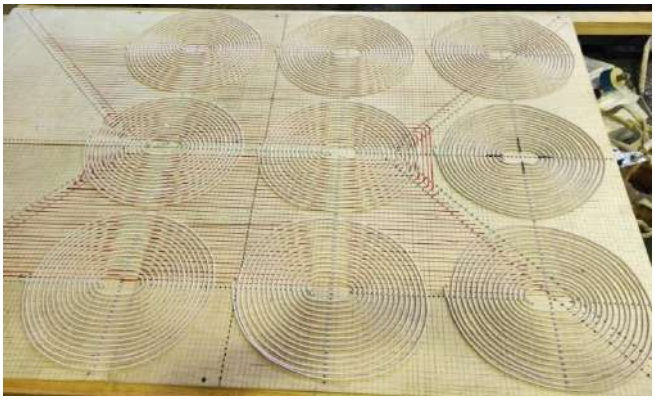


Рис. 5. Макет плоского индуктора, состоящего из 9 концентрических индукторов

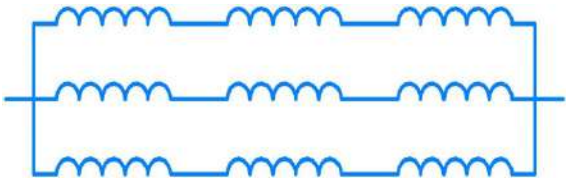


Рис.6. Схема подключения 9 концентрических индукторов

Сборка и испытание при разогреве стальной рифленой пластины толщиной 4 мм показали следующие результаты ее нагрева, замеренные тпирометрическим тепловизором (Рис.7)

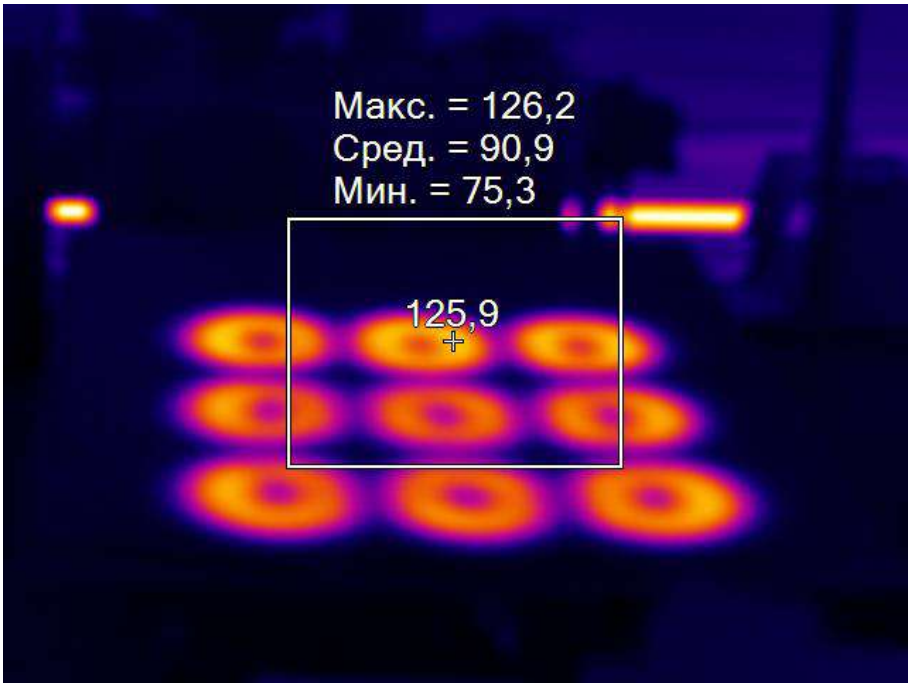


Рис.7. Результаты нагрева стальной рефленной пластины

Максимальная мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 9 кВт и ограничилась сечением провода.

4. Далее был изготовлен макет плоского индуктора состоящего из 36 индукторов 170мм х 140мм 6,5 витков из одного провода ЛЭЛО 1075х0,071 (Рис.8) и схема соединений обмоток индуктора (Рис.9).

Рис.8. Макет плоского индуктора

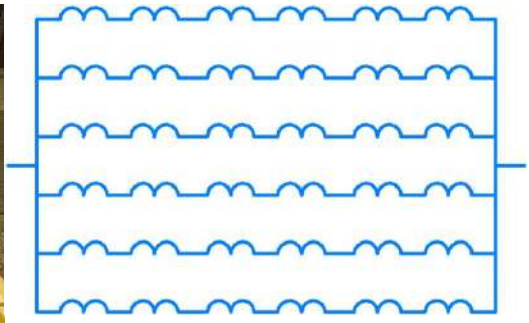


Рис. 9. Схема соединений обмоток индуктора

Результаты испытаний индуктора, приведенного на рис. 8 приведены на рис.10.

Максимальная мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 14 кВт. Индуктор имел низкое входное сопротивление, что не позволило оптимально согласовать его с генератором.

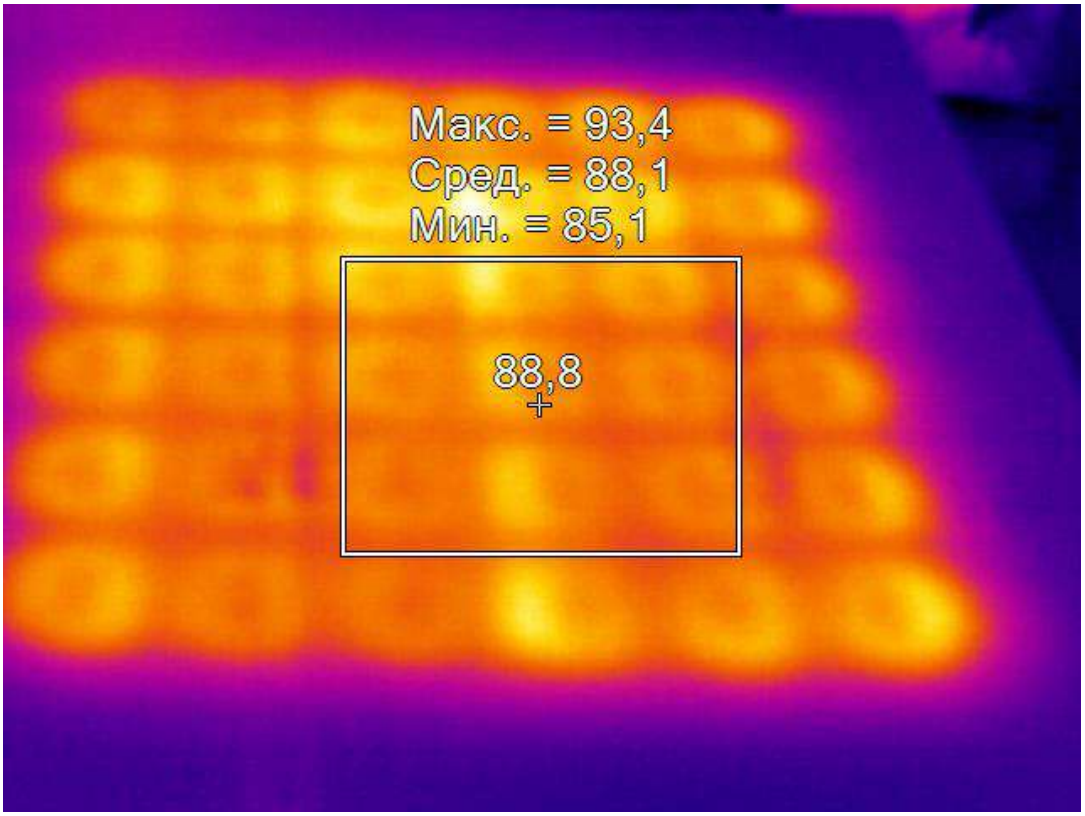


Рис. 10. Результаты испытаний индуктора

4. Далее был изготовлен макет плоского индуктора, состоящего из 9 индукторов 340мм х 300мм ,16 витков из двойного провода ЛЭЛО 1075х0,071. (Рис.11), подключенных по схеме, приведенной на Рис.12.

Рис.11. Макет плоского индуктора

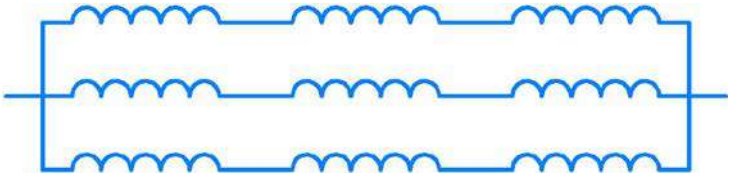


Рис.12. Схема подключения провода к индуктору

Причем между стальным листом и индуктором был проложен теплоизолятор (Рис. 13).

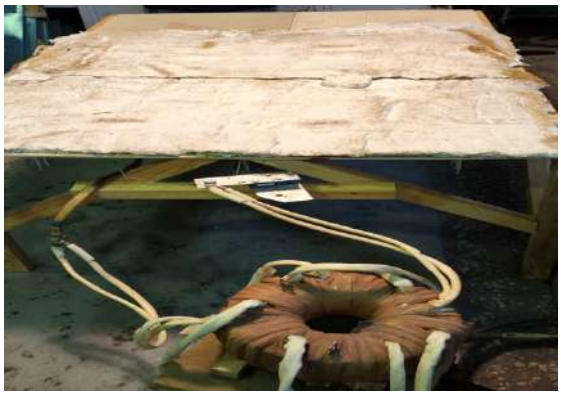


Рис.13. Теплоизолятор

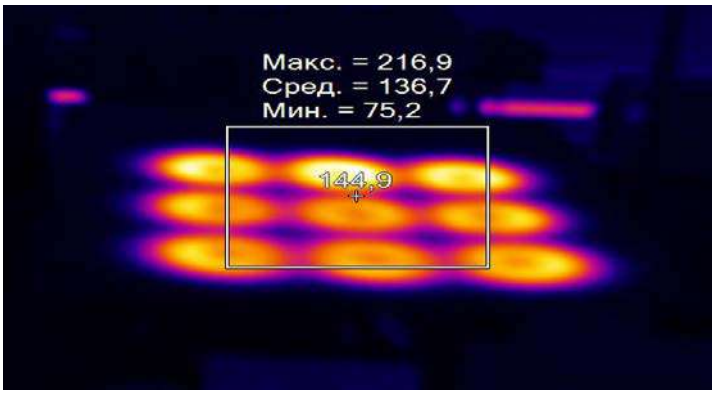


Рис.14. Результат экспериментальных замеров температуры нагрева стального листа

На рис. 14 приведены результат экспериментальных замеров температуры нагрева стального листа через 75 минут от подключения генератора.

Мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 23 кВт, с возможностью повышения до максимальной - 25 кВт. Данный вариант индуктора принят в качестве окончательного на данном этапе.

Идеальный электрический КПД системы «индуктор–загрузка» для идеализированной плоской системы, когда индуктор и загрузка являются полубесконечными телами [7], определяется по формуле:

$$\eta=1/\ (1+(\rho_1\mu_1)^{0,5}/(\rho_2\mu_2)^{0,5})$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельное электрическое сопротивление индуктора и загрузки, соответственно, Ом·м; μ_1 и μ_2 – относительная магнитная проницаемость индуктора и загрузки, соответственно.

Из приведенной формулы следует, что для получения наибольшего КПД материал индуктора должен иметь минимальное удельное электрическое сопротивление и быть немагнитным, а загрузка, напротив, должна обладать большим ρ_2 и быть ферромагнетиком.

Электрический КПД цилиндрической системы «индуктор–загрузка» зависит не только от электрофизических свойств материалов индуктора и загрузки, но и от их геометрических размеров и частоты тока в индукторе [8]. Зависимость КПД от геометрии системы носит сложный характер, так как помимо отношения диаметров индуктора и загрузки еще учитываются поправочные функции, определяющие, во сколько раз значения

активной и реактивной мощности для проводящих тел конечных размеров отличаются от значений этих же величин для полубесконечных тел. Во многих случаях кривизной индуктора можно пренебречь и рассматривать его как плиту (функция *F*пл), а цилиндрическая форма загрузки учтена функцией *F*ц. Так как *F*пл и *F*ц зависят от глубины проникновения электромагнитной волны и, следовательно, от частоты, то и электрический КПД также зависит от частоты, причем возрастает с увеличением частоты до некоторого предельного значения [9].

Как показали эксперименты, одним из способов снижения потерь активной мощности в нагревательном индукторе является использование многослойных обмоток. Электрические потери в многослойной обмотке в значительной степени зависят от ее конструкции и при правильном выборе токоведущих проводников могут быть заметно меньше, чем в однослойной обмотке.

Дальнейшие работы будут включать оптимизацию коэффициента полезного действия представленных схем устройств индукционного нагрева на основе оптимизационного подбора параметров расчета электрического КПД по приведенной выше методике.

Результаты получены при финансовой поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках выполнения гранта Конкурса научно-технических и инновационных проектов, направленных на развитие сферы железнодорожного транспорта на территории Красноярского края, 2022 на тему: «Индукционный нагрев цистерн с вязкими нефтепродуктами».

Литература:

1. Копейкин, Н.Н.. Совершенствование технологии разогрева и слива высоковязкого мазута из железнодорожных цистерн : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.08.- Санкт-Петербург, 1997.- 136 с.: ил. РГБ ОД, 61 97-5/1475-7.

2. Карпова Т.С., Моисеев В.И., Ксенофонтова В.А. Моделирование работы нефтеналивного терминала для вязких нефтепродуктов // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 60–75. doi: 10.17816/transsyst20206360-75.

3. Патент РФ на изобретение № 2666018/10.07.17. Бюл. №25 Моисеев В.И., Комарова Т.А. Цистерны для перевозки вязких нефтепродуктов. [Patent RUS № 2666018/10.07.17 Byul. №25. Moiseev VI., Komarova TA. Tanks for the carriage of viscous petroleum products. (In Russ.)].

4. ГОСТ РВ 50920-2005 Топлива, масла, смазки и специальные жидкости. Ограничительный перечень и порядок назначения для вооружения и военной техники. (Введен 01.07.2006 взамен ГОСТ РВ 50920-96).

5. Сафонов А.С. и др. Химмотология топлив для судовых энергетических установок. Эксплуатационные свойства нефтяных топлив. Требования к качеству.: НПИКЦ., С.Пб, 2009 г. 224с.

6. Емкость для транспортирования загустевших жидкостей Авторское свидетельство на изобретение №1557015, МКП B65D 88/74, / С.П. Ереско, В.П. Ереско // Опубл. 15.04.90, заявл. № 4278621, 10.06.1987.

7. Установки индукционного нагрева: учеб. пособие для вузов / под ред. А. Е. Слухоцкого. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 328 с.

8. Демидович, В. Б. Расчет цилиндрического индуктора с немагнитной загрузкой на ЭВМ / В. Б. Демидович, В. С. Немков // Промышленное применение токов высокой частоты: сб. науч. тр. ВНИИТВЧ. – Л. : Машиностроение, 1975. – Вып. 15. –С. 38–45.

9. Злотников И.И., Захаров И.В. Повышение эффективности работы устройств для индукционного нагрева / Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого № 4 , 2015.- С. 53-59.

Improvement of tank induction heating technology with viscous petroleum products

Eresko S.P.[a], Kurenkin A.S.[b], Palkin A.S.[c], Pestov V.V.[d], Simakov A. A.[e], Stankevich I. D.[f], Ugryumov A. V. [g]

[1]State Corporation for Space Activities Roscosmos (Roscosmos State Corporation)
Joint Stock Company "Central Design Bureau" Geophysics " (JSC CDB Geophysics), 89 Kirensky
[2]St., Krasnoyarsk, 660041, Russia, 660037, Russian Federation
[a]eresko07@mail.ru

Keywords: analysis, rational choice, automation, optimal cutting modes, efficiency, software product, composite materials.

The results of modernization and improvement of equipment elements for induction heating of tanks with viscous oil products are presented in order to increase the efficiency of their drainage in order to reduce tank downtime and improve the technology of induction heating of tanks using flat inductors that allow increasing the area of induction heating.

УДК 621.879

Оптимизация параметров сортировочного ковша экскаватора

Минин В.В.[1,a], Дмитриев В.А.[1,b], Бутрим К.Н.[1c]

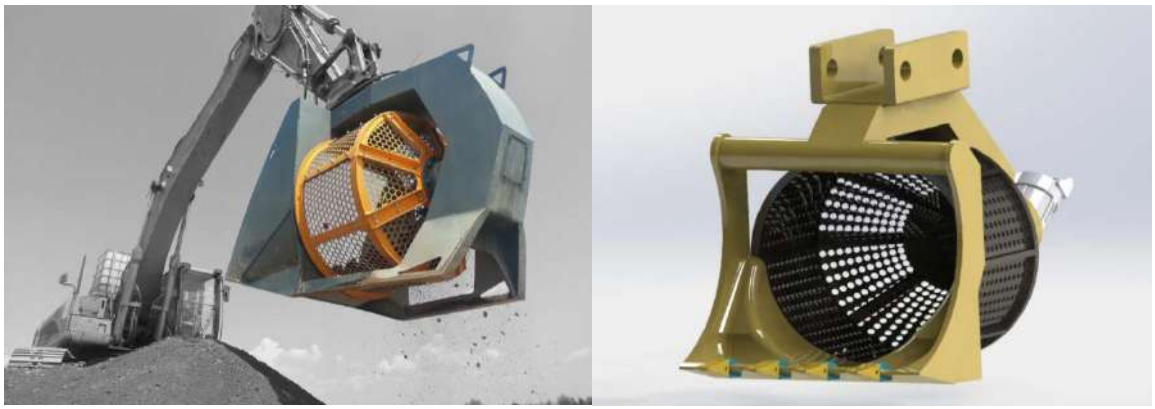
[1]Сибирский федеральный университет (СФУ), Академика Киренского, 26а, г. Красноярск, Россия
[a] vminin@rambler.ru, [b] VDmitriev@sfu-kras.ru, [c] butrim1998@yandex.ru

Ключевые слова: экскаватор, сортировочный ковш, оптимизация, производительность, аддитивный критерий.

В статье представлены результаты оптимизации основных конструктивных параметров сортировочного ковша экскаватора. Определена эффективность рабочего процесса на основе разработанного авторами аддитивного критерия оптимизации. Расширение функциональных возможностей оборудования для добычи и переработки рудных материалов на территориях повторного использования ресурсов подразумевает дооснащение экскаватора сортировочным ковшом оригинальной конструкции. Ранее, для разработки золотых отвалов, был выпущен проходческих комплекс на базе трелевочного трактора, где сортировочное оборудование было установлено в виде отдельного от экскаватора агрегата. Сокращению времени цикла способствует разработанная авторами конструкция, позволяющая проводить операцию грохочения с операцией транспортирования материалов.

Введение. Сортировочный ковш (СК) (рис. 1) является неотъемлемой частью оборудования, используемого в горнодобывающей промышленности, строительной индустрии, мусороперерабатывающей отрасли и др. Одним из недостатков такой технологии является значительная энергоемкость рабочего процесса. Для снижения затрат энергии необходимо модернизировать конструкцию ковша. Известные методы расчета грохотов в данном случае не всегда приводят к положительным результатам в оценке точности показателей производительности машины в связи с тем, что значительно количество

влияющих факторов. Необходимо учитывать параметры физико-технических характеристик разрабатываемого грунта и погодные условия эксплуатации.



а) *б)*

Рис. 1. Сортировочные ковши:
а - HSB компании HARTL[1]; б – конструкции авторов

Одним из важных аспектов модернизации сортировочного ковша является его конструкция. Современные сортировочные ковши изготавливаются из высокопрочных материалов, таких как сталь высокой прочности или сплавы, которые обеспечивают долговечность оборудования. В России сортировочные ковши начали использовать в начале 20-го века, когда развивалась горнодобывающая и металлургическая промышленность. В этот период появилась необходимость в увеличении производительности и эффективности процессов сортировки материалов. Сортировочные ковши использовались для сортировки различных руд, угля, гравия и других материалов. Сегодня сортировочные ковши используются во многих отраслях промышленности, включая: горнодобывающую, строительную, сельскохозяйственную и др. Существуют различные модели (типоразмеры ковшей), которые адаптированы для разных характеристик материалов и задач сортировки.

Модернизация данного типа ковшей требует инноваций в различных областях, таких как технологии, материалы, дизайн и процессы. Эти улучшения могут привести к увеличению эффективности и производительности сортировочного ковша, а также к сокращению издержек и повышению прибыли.

Методика. Основными задачами исследования являются увеличение эффективности сортировочных ковшей для экскаваторов, а также расширение их функциональности и снижение себестоимости производимых материалов. Путем анализа научных публикаций, патентов и информационных ресурсов в интернете были выявлены основные возможные направления для улучшения конструктивной схемы сортировочного ковша. В качестве примера можно рассмотреть конструкцию опытного образца оборудования для разработки золотых отвалов (рис. 2) выпущенного на Красноярском заводе лесного машиностроения «ОАО Краслесмаш». В современном мире золото является одним из самых ценных и востребованных металлов. Для его добычи применяются различные технологии, но одной из самых эффективных и популярных остаётся золотодобывающая машина с отвалом. Эта техника позволяет быстро и эффективно извлекать золото из земли и камней, используя специальный отвал для транспортировки материала на поверхность. Благодаря высокой производительности и надёжности, золотодобывающие машины с отвалом являются необходимым инструментом для многих компаний, занимающихся добычей золота в различных уголках мира. Кроме того, такие машины позволяют значительно снизить затраты на производство, что делает эту технику особенно привлекательной для инвесторов. В

целом, высокая актуальность золотодобывающей машины с отвалом связана с её эффективностью и экономической выгодой для компаний, занимающихся добычей золота.

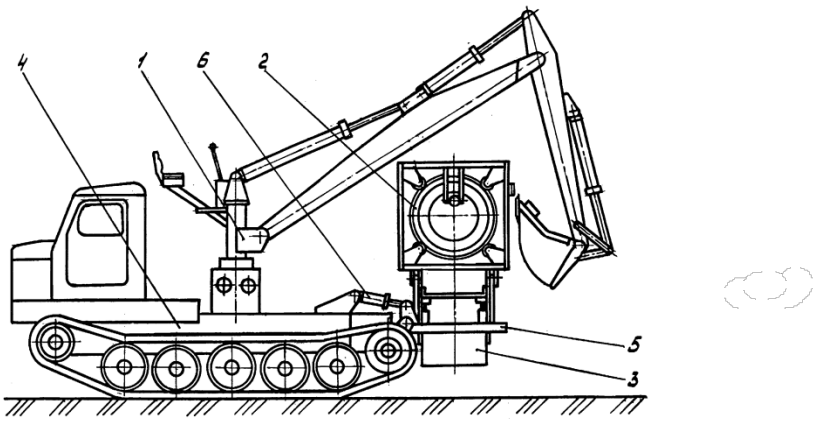


Рис. 2. Сортировочное оборудование на базе ТТ-4 [2]:
1 - экскаваторная установка; 2 - барабанный дезинтегратор; 3 - шлюз; 4 – самоходное шасси; 5 - рама; 6 – силовой гидроцилиндр

Проходческий комплекс содержит экскаваторную установку, барабанный дезинтегратор и шлюз, установленные на одном подвижном основании - самоходном шасси. На шасси шарнирно закреплена рама, соединенная с барабанным дезинтегратором, шлюзом и корпусом самоходного шасси с возможностью регулирования угла наклона обогатительного оборудования посредством силовых гидроцилиндров. На основе представленного образца и сортировочного ковша планируется создать улучшенное золотодобывающее оборудование, которое будет более компактным и мобильным, так основной функцией СК служит грохочение материала, и он функционально подходит для вышеуказанного вида работ.

Теория оптимизации. Анализ размерностей конструктивных и эксплуатационных параметров, входящих в целевую функцию (критерий) оценки степени совершенства, позволяет определить структуру модели в виде зависимости между безразмерными комбинациями, составленными из этих параметров. Авторами разработан [3] комплексный аддитивный критерий взаимосвязи основных конструктивных, энергетических и эксплуатационных параметров, который позволяет свести многокритериальную задачу к однокритериальной за счет введения обобщенного показателя вместо ряда частных критериев. Аддитивный критерий оптимизации сформирован в виде:

$$\Phi_N = \frac{QH}{N} + \frac{Z}{QG} \cdot \sqrt[3]{\frac{NG^2}{H^2}},$$

где Q – теоретическая производительность машины; N – установочная мощность двигателя; G – масса (сила тяжести) машины; H – линейный размер; Z – грузоподъемность (грузоподъемная сила).

Для определения минимального значения (рис. 3) данного критерия воспользуемся методикой [4], которая базируется на утверждении: среднее арифметическое неотрицательных чисел больше или равно их среднему геометрическому или $(a+b)/2 >> \sqrt{a*b}, (a>0, b>0)$. Для функции: $y = bx + a/x, (a>0, b>0)$ применяя неравенство, получаем: $y = a/x + bx > 2\sqrt{a/x * bx} = 2\sqrt{ab}$. Таким образом, функция Φ_N при $N > 0$ больше или равна $2\sqrt{ab}$.Значит, локальный минимум рассматриваемой функции $\Phi_N = 2\sqrt{Z^3 * H/G}$ и достигается при $N = \sqrt{a/b}$ или $N = \sqrt{Q^6 * H^5 * G/Z^3}$.

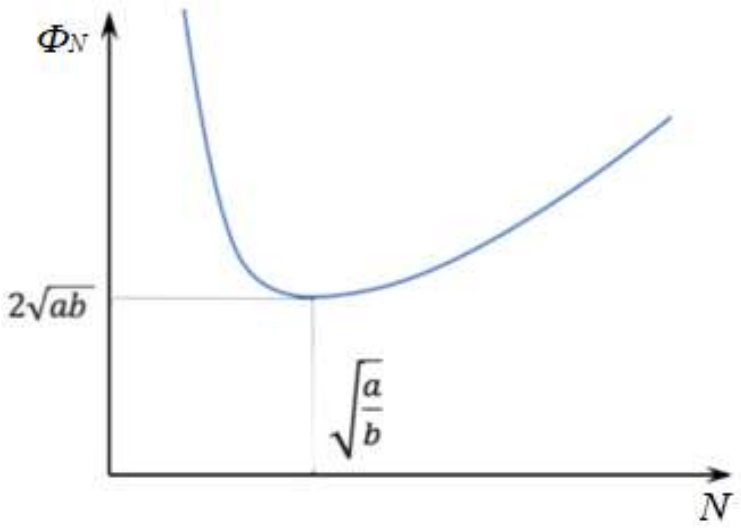


Рис. 3. График функции оптимизации

Условие оптимизации при составлении математической модели имеют ограничения и допущения, которые записываются в виде:

$$\Phi_N \rightarrow \min, \text{при}: Q \rightarrow max; N \rightarrow min;\ G - const;\ H - const;\ Z - const.$$

Производительность ковша при грохочении определялась по известной формуле:

$$Q = F \cdot m \cdot q \cdot K_1 \cdot K_2$$

где F - площадь просевающей поверхности, м^2; Q - производительность грохота, м^3/с; т - коэффициент, зависящий от формы зерен щебня и угла установки сита; q - удельная производительность 1 м^2 сита в м^3/с; K_1 - коэффициент, учитывающий процентное содержание зерен нижнего класса; K_2 - коэффициент, учитывающий процентное содержание зерен с размером 0,5 от диаметра отверстий в сите в нижнем классе.

В рамках исследования были изучены значения конструктивных параметров четырех конструкций сортировочных ковшей следующих фирм-производителей стран Австрии [1] и Италии [5] (модели: *HSB 800, HSB 2000, BVR 07, BVR 12e).*

Основные результаты. На основе апостериорных данных были построены зависимости аддитивного критерия оптимизации, которые представлены на рис. 4 и рис. 5.

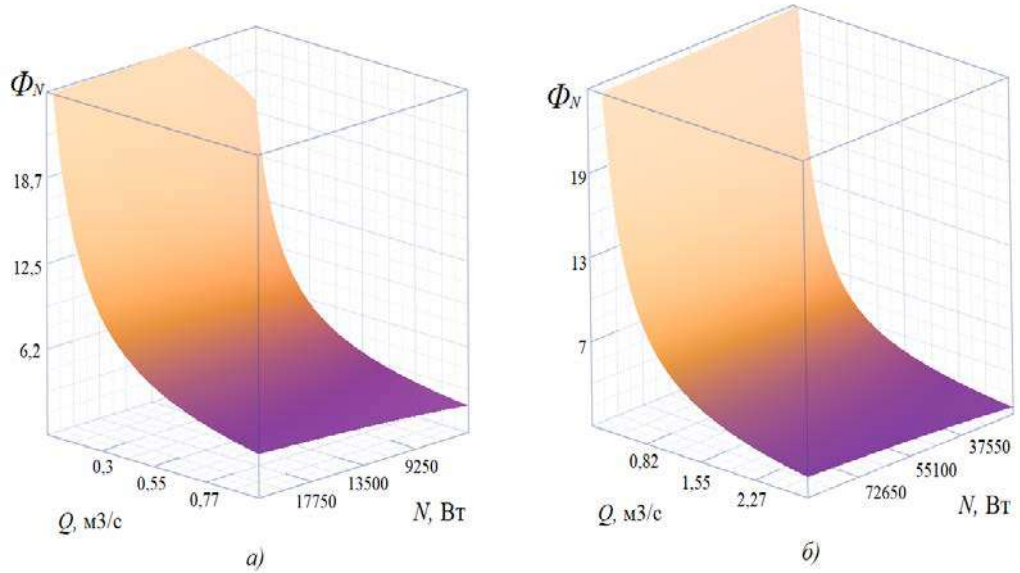


Рис. 4 . Зависимость аддитивного критерия Φ_N от установочной мощности двигателя N и теоретической производительностис Q для моделей сортировочных ковшей: а – BVR 07, б – BVR 12e

Здесь (рис. 4), следует отметить, что значение критерия оптимизации снижается с ростом производительности и увеличением установочной мощности двигателя. Так, при значении $\Phi_N = 18$ производительность $Q = 0{,}3$ и мощность $N = 18\ кВт$. При $\Phi_N = 5$, $Q = 0{,}8$ и $N = 9{,}5\ кВт$. Очевидно, что оптимальное значение установочной мощности – 10 кВт. Выбор двигателя по значению установочной мощности с другими значениями приводит к перерасходу энергоресурсов, при эксплуатации сортировочного ковша принятого типа размера и конструкции. Аналогичную картину (рис.5) изменения значения критерия оптимизации $\Phi_N = 19$ производительность $Q = 0{,}82$ и мощность $N = 27\ кВт$. При $\Phi_N = 6$, $Q = 9$ и $N = 222\ кВт$. Очевидно, что оптимальное значение установочной мощности – 30 кВт.

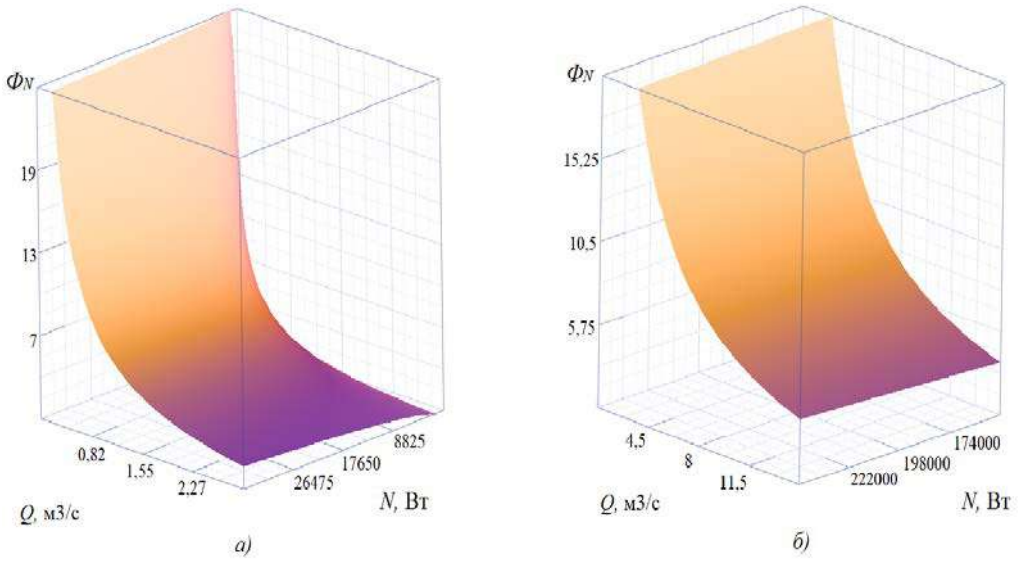


Рис. 5. Зависимость аддитивного критерия Φ_N *от установочной мощности* N *и теоретической производительностис* Q *для моделей сортировочных ковшей: а – HSB 800, б – HSB 2000*

Выводы. Результаты исследования параметров сортировочных ковшей показали, что для оптимизации их конструкции необходимо применить комплексный аддитивный критерий, учитывающий взаимосвязь основных конструктивных, энергетических и эксплуатационных параметров. Такой подход к задаче оптимизации позволяет упростить многокритериальную задачу, заменив ряд частных критериев на обобщенный критерий, тем самым сводя задачу к однокритериальной. По данной методике оптимизации получены результаты определении эффективности параметров и других наземных транспортно-технологических комплексов.

Литература:

1. ООО «ЭКОПРОМ». Сайт компании. [Электронный ресурс]: – URL:http://ep-recycling.com/hartl-bucket-screen-hbs800 (дата обращения 10.03.2023).

2. Патент 2132463 РФ, МПК^6 E21C 41/30, E02F 7/06. Проходческий комплекс.

3. Минин В.В. Методология инновационного проектирования наземных транспортно-технологических комплексов : учеб. пособие / В. В. Минин, Г. С. Гришко, В. Ю. Клешнин ; под общ. ред. В. В. Минина. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т. 2021. – 108 с.

4. Лурье М.В., Александров Б.И. Задачи на составление уравнений: учеб. руководство. / -М.: Наука. Гл. ред. Физ мат. Лит., 1990. –96 с.

5. TreviBenne. Интернет магазин. [Электронный ресурс]: – URL:https://www.trevibenne.it/ (дата обращения 05.03.2023).

Optimization of excavator screening bucket parameters

Minin V.V. [1,a], Dmitriev V.A. [1,b], Butrim K.N. [1c]

[1]Siberian Federal University (SFU), Academician Kirensky, 26a, Moscow, st. Krasnoyarsk, Russia
[a]vminin@rambler.ru, [b] VDmitriev@sfu-kras.ru, [c] butrim1998@yandex.ru

Key words: excavator, sorting bucket, optimization, productivity, additive criteria.

The article presents the results of optimizing the main design parameters of the excavator screening bucket. The efficiency of the workflow is determined on the basis of the additive optimization criterion developed by the authors. Expanding the functionality of equipment for the extraction and processing of ore materials in the areas of reuse of resources implies retrofitting the excavator with a screening bucket of the original design. Previously, for the development of gold dumps, a tunneling complex based on a skidder was produced, where sorting equipment was installed as a unit separate from the excavator. The design developed by the authors makes it possible to carry out the screening operation with the operation of transporting materials to reduce the cycle time.

УДК 691.542

Электрофизическая обработка незатвердевших бетонов

Мамаев Л.А.[1], Федоров В.С.[1,a], Герасимов С.Н.[1,b], Портнягина А.В[1,c]. Шаура А.С.[1,d]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]fedorov-v-s@yandex.ru, [b]sdm_gerasimov@rambler.ru, [c]portnyagina_1408@mail.ru, [d]shaurass00@mail.ru

Ключевые слова: бетонная смесь, активация, гидратация, вяжущее, цемент, электрическое поле, магнитное поле

В данной работе рассмотрены различные электрофизические методы воздействия на незатвердевшие бетонные смеси, одним из которых является электрофизическая обработка бетонной смеси электрическим полем, это достаточно новая технология, которая повышает прочность и долговечность бетона путем активации гидратации цемента. Высокочастотные электрические поля делают бетон прочным и устойчивым к экстремальным погодным условиям. В статье представлены и другие способы активации бетонных смесей, наиболее эффективными из которых являются обработка магнитными полями и высокочастотные электрические поля. Исходя из анализа представленных способов сделаны выводы об эффективности применения электрофизической обработки бетонной смеси электрическим полем.

Электрофизическая обработка бетонной смеси электрическим полем – достаточно новая технология, позволяющая повысить прочность и долговечность бетона. Эта технология заключается в воздействии электрического поля на водные дисперсии цемента и

других компонентов бетонной смеси, она помогает активировать процесс гидратации цемента, что приводит к повышению прочности и долговечности получаемого бетона и изделий выполненных с его использованием.

Высокочастотные электрические поля стали эффективным средством обработки бетонной смеси, позволяющим активизировать гидратацию цемента и повысить прочность бетона. Эта новая технология открыла ряд возможностей для инженеров и строителей, позволяя им создавать прочные и долговечные конструкции с меньшими затратами времени и усилий.

Электрофизическая обработка водных дисперсий используется для активизации гидратации цемента в бетонной смеси. Этот процесс помогает улучшить прочность и долговечность бетона, а также сократить время твердения и затраты на приготовление и обработку бетона. Используя новую технологию, можно гарантировать, что конструкции прослужат долго и смогут противостоять экстремальным погодным условиям.

Использование высокочастотных электрических полей для повышения прочности бетона является относительно новой технологией, ученые и инженеры экспериментируют с различными способами обработки смеси цемента и заполнителя. Эта новая технология открыла ряд возможностей для инженеров и строителей, позволяя им возводить прочные и долговечные конструкции с меньшими усилиями.

Технологические методы, направленные на улучшение качества бетона и растворов, связаны с изменением структуры цементного камня. Свойства цемента после твердения зависят от свойств вяжущего и условий, в которых происходит структурообразование. Высокое качество материалов достигается при правильном технологическом воздействии в определенное время, когда структура образуется равномерно. На ранних стадиях формирования структуры электростатические силы оказывают положительное влияние, разрушая адсорбционный слой и защитную оболочку гидратообразования, но на более поздних стадиях твердения, когда происходит изменение границы раздела фаз, электростатические силы оказывают отрицательное воздействие, приводя к разрушению структуры и снижению прочности бетона. Поэтому электрофизическая обработка цементно-водных дисперсий электрическими или магнитными полями предпочтительна на начальной стадии структурообразования [1-4], когда частицы цемента покрыты пленкой гидратных новообразований, препятствующих доступу воды к зернам клинкера. Эксперименты показали, что прочность бетона зависит от времени начала обработки электрическим и магнитным полем.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности бетона от времени начала обработки электрическим полем на ранней и поздней стадиях твердения. За 100 процентную прочность принята фактическая прочность необработанного бетона, твердеющего в нормальных условиях. Прочность и долговечность бетонных конструкций напрямую зависят от качества материалов и технологии их производства. Поэтому постоянно проводятся исследования и разработки новых технологий для улучшения свойств бетона и растворов.

В работах ученых [1 - 4] представлен достаточно обширный материал, касающийся не только эффективности различных методов обработки незатвердевшей бетонной поверхности, но и предлагаемых механизмов благоприятного воздействия на обрабатываемую бетонную поверхность и ее компоненты. В виду многообразия предлагаемых механизмов представим их для всех методов в сравнении (таблица 1) [2] .

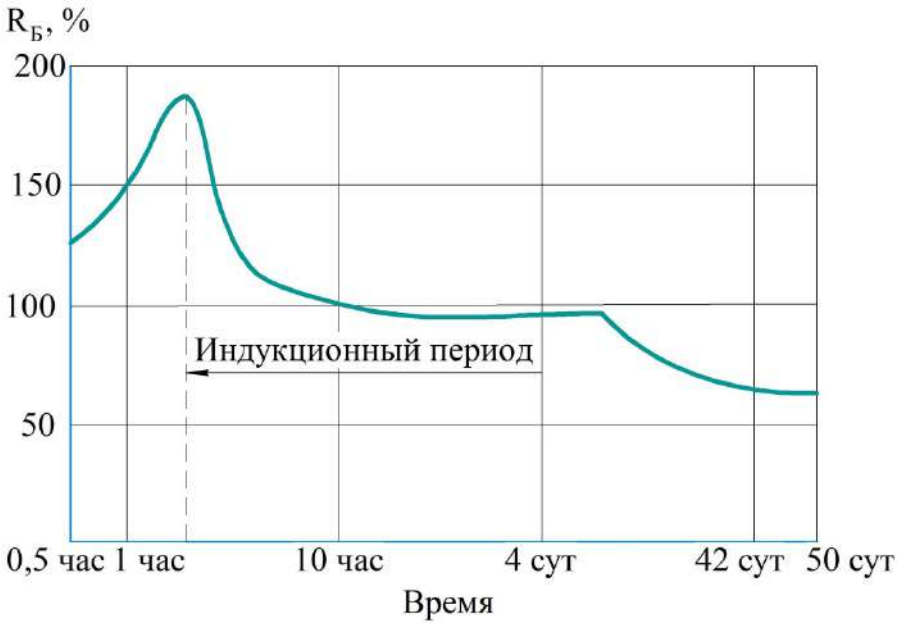


Рис. 1 - Зависимость прочности бетона от времени начала обработки электрическим током

Таблица 1

Перечень предлагаемых механизмов воздействия различных электрофизических методов на составляющие бетона и бетонную смесь

Электрофизические методы	**Предполагаемые механизмы воздействия**
1	*2*
Обработка воды в магнитном поле	- изменение свойств ионов солей, входящих в состав воды; - структура воды остается неизменной; - изменение структуры и свойств воды; - изменение свойств ионов солей и свойств воды;
Обработка воды постоянным электрическим током	- влияние на соли растворенных в воде веществ; - изменение свойств воды; - увеличение адсорбционной способности твердой фазы; - сжатие диффузной части двойного электрического слоя;
Обработка воды высоковольтным электрическим разрядом	- влияние на структуру водородных связей в воде; - изменение свойств ионов солей и свойств воды;
Обработка заполнителей искровым высоковольтным разрядом: электроимпульсная технология	- получение модифицированной поверхности; - меньшая дефектность продукта дробления; - увеличение шероховатости и реакционноспособности поверхности продукта дробления; - обогащение по чистоте вновь образованных поверхностей;
Электрическая поляризация цемента микротоками	- активация поверхности зерен цемента;
Высоковольтная униполярная электрическая поляризация силикатных компонентов	- обогащение по чистоте поверхностей зерен; -повышение реакционной способности поверхностей по месту функциональных групп =Si-OH и $=Si=(OH)_2$;
Сочетание низковольтной и высоковольтной активации цемента в коронном разряде	- влияние на электронно-ионную структуру дисперсной фазы; - диспергирование зерен цемента;

Продолжение таблицы 1

1	*2*
Обработка цементного теста в магнитном поле	- увеличение числа центров кристаллизации; - разрушение создающегося каркаса коагуляционной структуры; - ориентация частиц в магнитном поле; - изменение свойств ионов солей, входящих в состав воды;
Сочетание магнитной обработки цементного теста с механической активацией	- разрушение коагуляционной структуры вибрацией; - диспергирование зерен цемента; - изменение структуры и свойств воды; - изменение кинетики адсорбции и растворения;
Обработка бетонной смеси в переменном и постоянном магнитном поле	- разрушение экранирующей оболочки гидратообразований; - разрушение кристаллизационной структуры на поздних стадиях твердения; - увеличение числа центров кристаллизации; - разрушение создающегося каркаса коагуляционной структуры; - ориентация частиц в магнитном поле; - изменение свойств ионов солей, входящих в состав воды;
Приложение внешнего электрического поля	- изменение кинетики адсорбции и растворения; - изменение структуры и свойств воды;
Одновременное наложение на бетонную смесь магнитного и электрического полей	- наблюдаются явления электролиза воды и электроосмоса; - изменение свойств ионов солей, входящих в состав воды; - изменение свойств воды;
Наложение высокочастотного электрического поля	- уменьшение толщины двойного электрического слоя;
Разрядно - импульсная активация	- ионизация смеси; - диспергация частиц цемента с разрушением их кристаллической решетки; - изменение толщины двойного электрического слоя;
Ультразвуковая активация	- ускорение процесса растворения твердых частиц; - разрушение твердой фазы; - вытеснение газовой фазы с поверхности цементных частиц;
Сочетание ультразвуковой активации с прессовым давлением	- уменьшение толщины двойного электрического слоя; - вытеснение газовой фазы с поверхности цементных частиц;
Акустическая активация	- удаление с поверхности цемента и заполнителя карбонатной пленки и пылевидных частиц; - вытеснение газовой фазы с поверхности твердых частиц.

Одним из способов улучшения свойств бетонной смеси является ионизация смеси за счет электрофизического воздействия на примеси в воде, изменение структуры и свойств воды, модификация поверхности твердой фазы и диспергирование частиц цемента. Для достижения этих результатов наиболее перспективными методами являются электрофизическая и магнитная активация компонентов бетонной смеси. Однако по ряду вопросов, например, по механизму воздействия на водную смесь, мнения различных авторов могут расходиться. Существует много противоречий в свойствах получаемого бетона. В большинстве случаев механизм не был должным образом доказан, и была выявлена необходимость дальнейших исследований. Использование новых технологий и методов в производстве бетона может значительно улучшить его свойства. Электрофизическая

обработка и воздействие магнитных полей на незатвердевшую бетонную поверхность - это только некоторые из методов, которые могут быть использованы для улучшения свойств готовых изделий из бетона. Однако, необходимо проводить дополнительные исследования, чтобы полностью понять механизмы действия этих методов и их влияние на свойства бетона.

Использование этой технологии в последние годы становится все более популярным благодаря ее экономичности и способности улучшать свойства товарного бетона. Значительно снижается потребление энергии во время приготовления бетонных смесей, уменьшается воздействие на окружающую среду за счет меньшего количества отходов. При дальнейших исследованиях и разработках эта технология может быть использована во многих различных областях строительства, от жилых зданий до промышленных сооружений.

Литература:

1. Федоров В.С. Совершенствование процесса и агрегата финишной обработки незатвердевших бетонных поверхностей: 05.02.13 «Машины агрегаты и процессы» диссертация на соискание ученой степени кандидата наук / Федоров Вячеслав Сергеевич; - Братск, 2011. 167 с.

2. Золототрубов Д. Ю. Закономерности формирования плотно упакованной структуры дисперсно-зернистых строительных материалов при электрофизическом воздействии: 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» диссертация на соискание ученой степени кандидата наук / Золототрубов Дмитрий Юрьевич; - Воронеж, 2006. 135 с.

3. Горленко. Н.П. Информационные взаимодействия в неживой и живой природе / Горленко Н.П., Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Дунаевский Е.Г. - Томск гос. Ун-т. – Томск: Изд-во ТГУ, 1999. – 128 с. 973. – 343с.

4. Баталин. Б.С. Влияние магнитной обработки бетонной смеси на процессы структурообразования в твердеющем бетоне: 05.48.4 «Строительные материалы детали и изделия» диссертация на соискание ученой степени кандидата наук / Баталин Борис Сергеевич; Пермский политехнический институт. – Пермь, 1969. – 232 с.

Electrophysical treatment of uncured concrete

Mamaev L.A.[1], Fedorov V.S.[1,a], Gerasimov S.N.[1,b], Portnyagina A.V[1,c]., Shaura A.S[1,d].

[1]Bratsk State University, st. Makarenko 40, Bratsk, Russia Federation
[a]fedorov-v-s@yandex.ru, [b]sdm_gerasimov@rambler.ru, [c]portnyagina_1408@mail.ru, [d]shaurass00@mail.ru

Keywords: concrete mix, activation, hydration, binder, cement, electric field, magnetic field

In this paper, various electrophysical methods of influencing uncured concrete mixtures are considered, one of which is the electrophysical treatment of the concrete mixture with an electric field, this is a fairly new technology that increases the strength and durability of concrete by activating the hydration of cement. High-frequency electric fields make concrete strong and resistant to extreme weather conditions. The article presents other methods of activation of concrete mixtures, the most effective of which are treatment with magnetic fields and high-frequency electric fields. Based on the analysis of the presented methods, conclusions are drawn about the effectiveness of the use of electrophysical treatment of concrete mixture with an electric field.

УДК 69.002.51

Расчет параметров активного гидропривода центрифуги для очистки гидравлических масел

Плеханов Н.Г.
Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
plehanovng@yandex.ru

Ключевые слова: центрифуга, ротор, активный гидропривод, вихревая камера, рабочее колесо.

Рассматривается полнопоточная центрифуга с активным приводом для очистки гидравлических масел. Направляющий аппарат гидропривода − цилиндрическая вихревая камера с тангенциальными входными каналами, формирующая вращающийся и конически расходящийся на выходе поток жидкости. Лопатки и каналы рабочего колеса турбины, установленного в роторе, расположены под тем же углом конусности. Решается задача проектирования вихревой камеры для обеспечения требуемого скоростного режима центрифуги при заданном расходе жидкости в гидроприводе. Определяются оптимальные геометрические параметры вихревой камеры: её высота, радиус, количество и ширина тангенциальных входных каналов, а также радиус выходного отверстия из камеры. Предлагается алгоритм расчетов. В первую очередь определяется радиус выхода из вихревой камеры и одновременно входа в рабочее колесо турбины. Он находится из условия равенства движущего момента, развиваемого потоком в гидроприводе, и момента сопротивления вращающегося ротора. Представлены расчетные формулы для движущего момента и момента сопротивления с учетом сопротивления в цилиндрическом уплотнении подвижного соединения вихревой камеры с ротором. Получено уравнение для расчета радиуса выхода из вихревой камеры в зависимости от расхода жидкости. Далее находится внутренний радиус вихревой камеры, из условия наименьших потерь кинетического момента жидкости в ней. Оперируя шириной и количеством входных каналов камеры, определяется их высота из условия минимальных гидравлических потерь в вихревой камере. Приводятся результаты расчетов моментов сопротивления вращению роторов разных типоразмеров, а также оптимального радиуса выхода из вихревой камеры при разных расходах жидкости. Выполнены расчеты параметров вихревой камеры экспериментальной центрифуги. Результаты подтверждают эффективность разработанной методики проектирования вихревой камеры.

Надёжность и ресурс транспортно-технологических машин существенно зависят от качества очистки используемых в них масел, топлива и рабочих жидкостей. Среди различных способов очистки рядом бесспорных преимуществ обладает центробежная. Несмотря на мировую тенденцию по сокращению использования центрифуг в пользу фильтров, ряд компаний продолжают выпускать центрифуги для очистки масел и технических жидкостей. В связи с этим совершенствование центробежного способа очистки остаётся актуальным, в частности центрифуг с гидроприводом.

Центрифугу с гидроприводом можно рассматривать как турбомашину, в которой рабочим колесом турбины (РК) является ротор. Фактически он состоит из двух частей: входной и выходной, разделенных участком сепарации. В силу разобщённости в пространстве входных и выходных частей РК турбины возможна ее конструкция любого типа: осевая, радиальная (центробежная или центростремительная), радиально-осевая.

Для центрифуг с гидроприводом характерны высокая скорость вращения и малая мощность турбины. В ряде случаев очищенный в роторе поток должен обладать

достаточной энергией для выполнения заданного технологического процесса (например, использоваться для смазки узлов машины). Подвод жидкости во вращающийся ротор и вывод из него производятся под давлением, что требует применения бесконтактных уплотнений для сопрягаемых деталей по возможности малого диаметра.

Наиболее распространённым и изученным гидроприводом является струйно-реактивный, в котором крутящий момент возникает при истечении жидкости из форсунок ротора [1]. Реже используется активный привод. Его особенность в том, что к РК, т.е. ротору, подводится уже закрученный в направляющем аппарате поток. В настоящее время предложен ряд конструктивных решений активных гидроприводов. Среди них представляется перспективным вихревой привод. Благодаря особенностям истечения жидкости из вихревой камеры (ВК), возможно создание гидропривода центрифуги простой конструкции, с малым гидравлическим сопротивлением и высокими скоростными показателями.

Известно, что из центрального отверстия ВК жидкость истекает тонким кольцевым слоем и по выходу образует конический расходящийся под некоторым углом β поток (рисунок 1). Приосевая зона радиусом *Rm* непроточна. Она заполнена воздухом либо при наличии противодавления – жидкостью. Конический поток, истекающий из ВК, обладает кинетическим моментом и при введении его в рабочее колесо турбины приводит ротор во вращение. Таким образом, если использовать естественные границы потока на выходе из ВК, то тип турбинной ступени гидропривода получается радиально-осевым, центробежным. Лопатки и каналы проточной зоны РК турбины, через которые жидкость поступает в сепарирующую полость ротора, расположены под тем же углом конусности β.

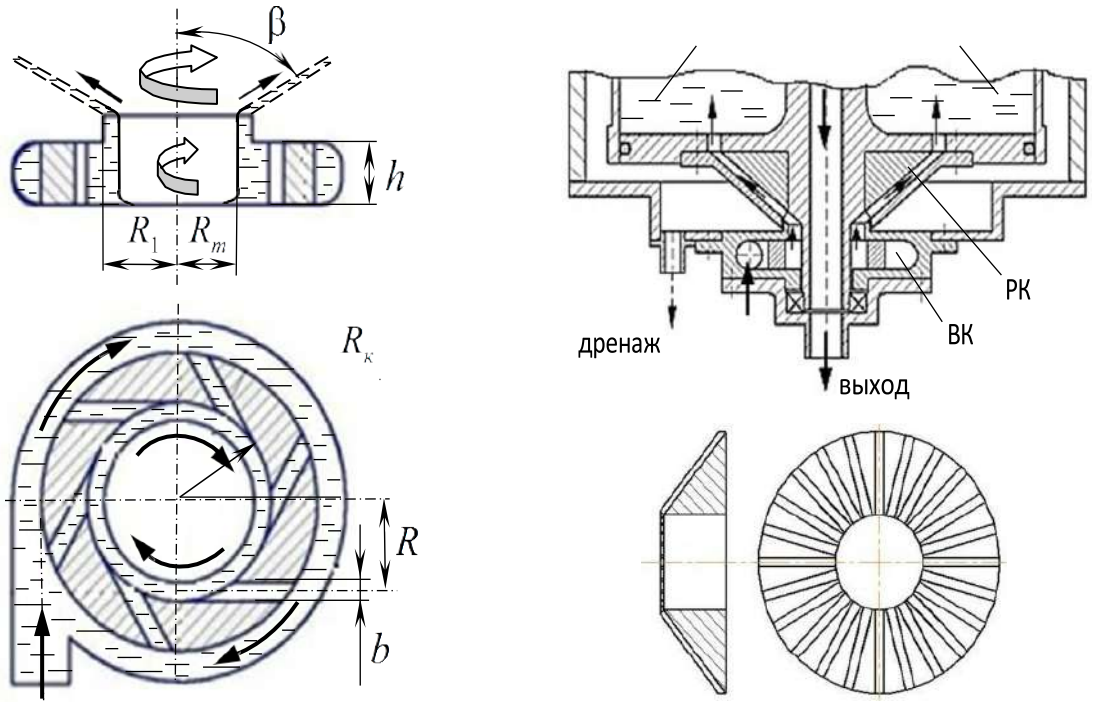


Рис. 1. Центрифуга с пакетом конических тарелок

В центральной, непроточной зоне вихревой камеры рационально разместить ось (или вал) ротора с каналом для вывода жидкости из него.

Наиболее технологичная форма сечений тангенциальных каналов вихревой камеры −

прямоугольная, причем высота каналов соответствует высоте самой камеры. Тогда основная задача проектирования ВК заключается в выборе ее оптимальных геометрических параметров: ширины b и количества z каналов, высоты камеры h, ее радиуса Rk, а также радиуса выходного отверстия из нее R_1 (рисунок 1). При этом исходными данными для расчетов являются номинальная скорость вращения ротора ω и расход жидкости через центрифугу Q. Кроме того, необходимо определиться с некоторыми конструктивными параметрами центрифуги: размерами ротора, типом подшипников (качения, скольжения), размерами бесконтактного уплотнения ВК с ротором, а также хотя бы приблизительно оценить энергетические потери давления в вихревой камере.

Методика исследований. Алгоритм расчетов следующий. Прежде всего, определяется основной параметр направляющего аппарата турбины – радиус $R1$ выхода из ВК и одновременно входа в РК турбины. Он существенно влияет на энергетические показатели гидропривода. Чем меньше этот радиус, тем меньше сопротивление в цилиндрическом уплотнении сопряжения ВК с ротором.

$R1$ находится из условия равенства движущего момента, развиваемого потоком в НА и момента сопротивления вращающегося ротора:

$$M_\sigma = M_c \tag{1}$$

Движущий момент, при условии безударного входа закрученной жидкости из ВК в РК турбины, определяется как

$$M_\sigma = \rho \cdot Q_{\text{пр}} \cdot \omega \cdot R_1^2$$

где ρ – плотность жидкости; $Q_{\text{пр}}$ – расход в гидроприводе, который может отличаться от расхода на входе в центрифугу Q на величину утечек (потерь) жидкости Q_y через зазор в цилиндрическом уплотнении турбинной ступени, т.е. $Q_{\text{пр}} = Q - Q_y$

Тогда

$$M_\sigma = \rho \cdot \omega \cdot R_1^2 \cdot [Q - B \cdot (R_1 + t)] \tag{2}$$

Здесь B − коэффициент, учитывающий величину утечек жидкости Q_y , t – толщина стенки выходного сопла вихревой камеры (рисунок 3).

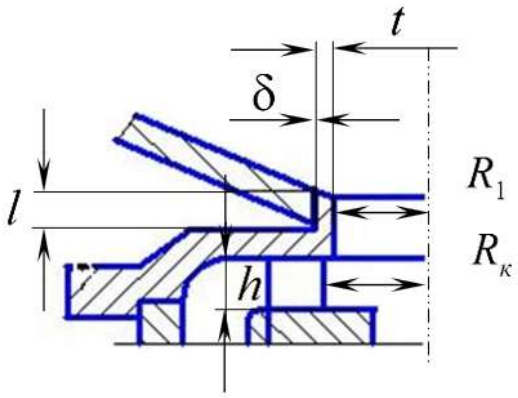


Рис. 3. Схема определения толщины стенки выходного сопла вихревой камеры

Момент M_c складывается из моментов сопротивления вращению собственно ротора M_p и сопротивления в цилиндрическом уплотнении сопряжения ВК с ротором:

$$M_{\text{с}} = M_p \cdot M_y$$

Сопротивление в уравнении M_y, в свою очередь, состоит из момента сопротивления от вязкого трения $M_{\text{тр}}$ и момента, затрачиваемого на разбрызгивание жидкости, вытекающей из уплотнения - $M_{\text{бр}}$.

$M_{\text{тр}}$ пропорционален угловой скорости ротора ω и определяется по формуле Н.П. Петрова как

$$M_{\text{тр}} = 2\pi \frac{\mu(R_1 + t)^3 \cdot l}{\delta} \omega,$$

$$\text{или } M_{\text{тр}} = A_1(R_1 + t)^3.$$

Здесь $A_1 = 2\pi \frac{\mu \cdot l}{\delta} \omega$ – параметр, учитывающий вязкость жидкости μ, радиальный зазор в уплотнении δ и его длину l.

Момент сопротивления, реализуемый при разбрызгивании, равен:

$M_{\text{бр}} = \rho \cdot Q_y (R_1 + t)^2 \cdot \omega$

Величина утечек через цилиндрическое уплотнение - Q_y зависит от разности давлений на его границах $\Delta P_{\text{упл}}$:

$$Q_y = \frac{\pi}{6} \cdot \frac{\delta^3 \cdot \Delta P_{\text{упл}}}{\mu \cdot l} (R_1 + t)$$

Тогда по аналогии с формулой для $M_{\text{тр}}$

$$M_{\text{бр}} = B_1(R_1 + t)^3$$

Здесь $B_1 = \frac{\pi}{6} \rho \frac{\delta^3 \cdot \Delta P_{\text{упл}}}{\mu \cdot l} \omega$

В результате полный момент сопротивления в уплотнении ВК-ротор составит:

$$M_{\text{у}} = M_{\text{тр}} + M_{\text{бр}} = (A_1 + B_1)(R_1 + t)^3 = A(R_1 + t).$$

Коэффициент $A = A_1 + B_1$ вычисляется, исходя из геометрических параметров подбираемого уплотнения ВК с роторов [9], планируемого скоростного режима центрифуги, физических свойств очищаемой жидкости и энергетических потерь давления в ВК $\Delta P_{\text{вк}}$. Аналитически рассчитать их весьма сложно. Надежнее эти потери оценить.

Момент сопротивления вращению ротора M_p (аэродинамический, сопротивления в подшипниках, уплотнениях) также вычисляется, исходя из принятых параметров центрифуги (размеров ротора, типа подшипников).

Таким образом, полный момент сопротивления ротора, соответствующий его заданной угловой скорости ω и расходу жидкости на входе в центрифугу Q, будет равен:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{р}} + M_{\text{у}} = M_{\text{у}} = M_{\text{р}} + A(R_1 + t)^3$$

В итоге, приравняв (2) и (3), согласно (1), получаем уравнение для расчета R_1:

$$M_{\text{р}} + A(R_1 + t)^3 - \rho\omega R_1^2 [Q - B(R_1 + t)] = 0$$

Из (4) следует, что при заданной ω радиус R_1 зависит от расхода Q и соответствующего им момента M_p. Причем, чем меньше расход на привод, тем больше этот радиус. Однако при этом возрастает сопротивление в цилиндрическом уплотнении, так что при малых расходах M_y может даже превысить M_p, что практически не приемлемо. Расчеты показали, что существует минимальная величина расхода жидкости Q_{min} и соответствующий ему максимальный радиус R_1^{max}, за пределами которых получить требуемую скорость вращения ротора ω невозможно.

В таблице 1 приведены расчетные значения M_p центрифуг разных типоразмеров для очистки моторных масел (плотностью ρ = 890 кг/м^3 и вязкостью μ = 0,0089 Па*с) при частоте вращения n=10000 об/мин, определенные по разработанной ранее методике, а также результаты решения уравнения (4) для них при разных расходах жидкости.

Таблица 1

Расчетные значения моментов сопротивления роторов M_p и оптимальных радиусов R_1 выхода из вихревой камеры

Типоразмер (обьем) ротора, л		1	2	3	4	5	6
Высота/диаметр ротора (H/D), мм		142/95	179/119	205/137	225/150	243/162	258/172
M_p, Н*см		2,0	5,5	10,7	16,6	24,3	32,6
R_1, мм	Q=30, л/имн	7,3	12,6	18,7	25,3	36,6	-
	Q=40, л/имн	6,1	10,3	14,8	19,0	23,9	28,9
	Q=50, л/имн	5,4	9,0	12,8	16,2	20,0	23,7
	Q=60, л/имн	4,8	8,0	11,4	14,4	17,7	20,8

После определения радиуса выхода из ВК – R_1 находится внутренний радиус камеры – $R_к$, из условия минимальных потерь кинетического момента жидкости при трении ее о торцевые поверхности ВК. Это обеспечивается с приближением плеча ввода жидкости в камеру – R к радиусу ее выходного отверстия - R_1, т.е. при минимальных размерах ВК (рисунок 1). Тогда $R_k = R_1 + b$

При расчете параметров тангенциальных каналов вихревой камеры, их шириной b зададимся из технологических соображений: $b = 1, 2, 3, 4$ ...мм. Тогда количество каналов z и их высота h находятся из условия минимальных гидравлических потерь и потерь кинетического момента в ВК. Наименьшие диссипативные потери будут при минимально возможных скоростях вращающегося потока в камере и на входе в нее (в тангенциальных каналах – w). С другой стороны окружная скорость жидкости на выходе из ВК (на радиусе R_1) должна соответствовать скорости лопаток рабочего колеса ротора на том же радиусе, при условии безударного входа в нее, т.е.

$$w \cdot \alpha \cdot \frac{R}{R_1} = \omega \cdot R_1$$

Здесь коэффициент α характеризует снижение циркуляции скорости в ВК вследствие вязкого трения [3,4,5,6]. Он зависит от многих параметров, в том числе и от самой w.

В таблице 2 приведены некоторые результаты расчетов оптимальных геометрических параметров и соответствующих им гидравлических потерь $\Delta P_{вк}$ в вихревой камере экспериментальной центрифуги. Параметры центрифуги: объем ротора 2,5 л; радиус выхода из ВК - R_1 = 11,5 мм; частота вращения ротора – n = 10000 об/мин при суммарном моменте сопротивления M_c = 7,4 Н*см и расходе жидкости в гидроприводе $Q_{пр}$ = 37,5 л/мин.

Таблица 2

Расчетные параметры вихревой камеры экспериментальной центрифуги

z	b, мм	h , мм	Rк , мм	α	Гидравлические потери $\Delta P_{вк}$ бар
2	1	23,0	12,0	0,877	0,197
	2	12,0	12,5	0,913	0,128
	3	7,7	13,0	0,900	0,154
	4	5,6	13,5	0,864	0,230
3	1	16	12	0,913	0,0129
	2	7,96	12,5	0,925	0,0110
	3	5,1	13	0,894	0,0170
4	1	12,0	12,0	0,931	0,099
	2	5,9	12,5	0,927	0,109
	3	3,8	13,0	0,881	0,199

Результаты исследований. Одна из задач экспериментальных исследований состояла в определении скоростных и расходных характеристик опытной центрифуги в зависимости от

давления на входе $P_{вх}$ при различных параметрах ее ВК, а также в оценке гидравлических потерь в гидроприводе. Менялись: число тангенциальных каналов z от 1 до 5, их ширина b, высота камеры h. Кроме того, аналитически определялись:

- энергия потока на входе в гидропривод,

$$E = Q_{пр} \cdot P_{вх};$$

- скорость потока в тангенциальных каналах ВК,

$$w = \frac{Q_{пр}}{z \cdot b \cdot h};$$

- коэффициент изменения кинетического момента потока в ВК, α;

- момент сопротивления вращению M_c, равный движущему моменту, реализуемому ВК,

$$M_{\partial} = \rho Q_{пр} w \cdot R \cdot \alpha;$$

- гидравлические затраты на вращение ротора, $\Delta P_{вр} = 10^{-5} \cdot \frac{M_c \omega}{Q_{пр}}$;

- полные гидравлические потери в гидроприводе (в том числе и на вращение ротора),

$$\Delta P = P_{вх} - P_p$$

- КПД гидропривода, $\eta = \frac{\Delta P_{вр}}{\Delta P}$.

Таблица 3

Результаты испытаний и расчетов гидропривода экспериментальной центрифуги

$P_{вх}$, бар	P_p, бар	ΔP, бар	$Q_{пр}$, л/мин	n, об/мин	w, м/с	α	M_C, Нсм	$\Delta P_{вр}$, бар	E, Вт	η
h = 5,8 мм; z = 4										
3,00	1,05	1,95	28,3	6700	10,2	0,881	4,4	0,65	142	0,33
4,15	1,55	2,60	31,2	9550	11,2	0,887	5,4	1,04	216	0,40
5,05	1,90	3,15	33,7	11000	12,1	0,892	6,3	1,29	284	0,41
6,05	2,30	3,75	36,6	12350	13,2	0,897	7,5	1,59	370	0,42
h = 11,5 мм; z = 2										
3,00	1,00	2,00	28,4	6650	10,2	0,881	4,4	0,65	142	0,33
4,10	1,50	2,60	30,7	9400	11,1	0,885	5,2	1,00	210	0,38
5,05	1,80	3,25	32,6	11000	11,7	0,888	5,9	1,25	275	0,38
6,05	1,80	4,25	35,2	12350	12,7	0,891	6,9	1,52	356	0,36

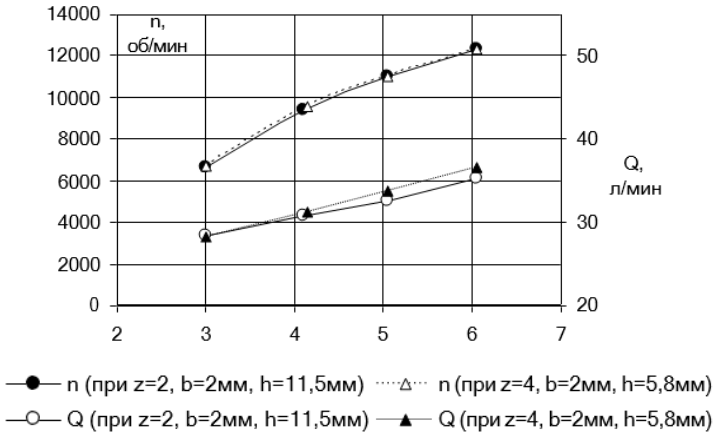


Рис. 3. Скоростные и расходные характеристики экспериментальной центрифуги

Эксперименты показали, что даже при небольшом давлении на входе можно получить высокую скорость вращения. Это означает, что для привода этих центрифуг можно применять гидронасосы не объёмного типа (шестерённые), а, например, центробежные. При

этом нет необходимости использования регуляторов давления и насос можно подключать к центрифуге напрямую. При давлениях порядка $P_{вх}$ = 7 бар частота вращения ротора может достигать 14000 об/мин. Такую скорость с помощью реактивного привода получить практически не реально.

Исходный и основной расчетный параметр вихревого гидропривода − радиус выхода из вихревой камеры (и входа в рабочее колесо турбины). Он определяется при заданной скорости ротора и расходе на привод из условия равенства моментов движущего, развиваемого гидроприводом и сопротивления вращающегося ротора.

Оптимальные геометрические параметры входных тангенциальных каналов ВК: ширина, высота и их количество соответствуют минимуму гидравлических потерь в ней.

Оптимальный радиус ВК, определяемый из условия наименьших энергетических потерь потока в ней, превышает радиус её выходного сопла на ширину входных каналов.

Оптимальная ширина входных тангенциальных каналов ВК зависит от их количества. Для экспериментальной центрифуги при рассматриваемых условиях ее работы при количестве каналов 2 и 3 расчетные значения ширины щелей составляют 2 мм, а при увеличении числа каналов до 4 их оптимальная ширина уменьшается до 1 мм.

Оптимальная высота входных каналов (и высота ВК) при выбранной их ширине и количестве соответствует такой скорости жидкости в них, при которой будет обеспечена необходимая окружная скорость потока на выходе из ка- меры (с учетом гидравлических потерь в ней), способная обеспечить заданный режим вращения ротора при условии безударного входа в рабочее колесо турбины.

Литература

1. Самсонов, В.Т. О законе распределения размеров частицы пыли / В.Т. Самсонов // Научные труды институтов охраны труда ВЦСПС. – Москва: – 1964. – Вып. 3(29).

2. Алексеенко, П.Д. Работоспособность рабочей жидкости гидропривода строительных машин при насыщении её водой / Алексеенко П.Д., Плеханов Г.Н., Торопов А.Г. Ленингр. Инж.-строит. Ин. - т. Л., 1990, 11с.: ил. - Деп. в ВИНИТИ 18.04.90. №24 - сд 90.

3. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие / Башта Т.М. - М.: Машиностроение, 1971, 672 с.

4. Зеркалов, Д.В. Обеспечение эксплуатационных свойств рабочих жидкостей и гидросистем / Зеркалов Д.В. – Строительные и дорожные машины, 1986, №11, с. 29-30.

5. Соколов, В.И. Современные промышленные центрифуги / Соколов В.И. – М.: Машиностроение, 1967, 522 с.

6. Хальд, А. Математическая статистика стехническими приложениями / А. Хальд. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1956.

Calculation of parameters of the active hydraulic drive of the centrifuge for cleaning hydraulic oils

Plekhanov N.G.

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation
plekhanovng@yandex.ru

Keywords: centrifuge, rotor, active hydraulic drive, vortex chamber, impeller.

A full-flow centrifuge with an active drive for cleaning hydraulic oils is considered. The guiding device of the hydraulic drive is a cylindrical vortex chamber with tangential inlet channels, forming a rotating and conically diverging fluid flow at the outlet. The blades and

channels of the turbine impeller mounted in the rotor are located at the same taper angle. The problem of designing a vortex chamber is solved to ensure the required high-speed mode of the centrifuge at a given fluid flow rate in the hydraulic drive. The optimal geometric parameters of the vortex chamber are determined: its height, radius, number and width of tangential input channels, as well as the radius of the outlet from the chamber. The calculation algorithm is proposed. First of all, the radius of the exit from the vortex chamber and at the same time the entrance to the turbine impeller is determined. It is found from the condition of equality of the driving moment developed by the flow in the hydraulic drive and the moment of resistance of the rotating rotor.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.004.94

Цифровое моделирование производственного процесса в тяжелом машиностроении

Нигодин Ю.А. [1,a], Нигодин Е.А. [2,b]

[1]МОАО «Седин», ул. Им. Захарова 8, Краснодар, 350007, Россия
[2]Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская 149, Краснодар, 350040, Россия
[a]n45n@mail.ru, [b]apostolje@gmail.com

Ключевые слова: цифровое моделирование, производственный процесс, тяжелое машиностроение, CALS-технологии, компьютерное моделирование, оптимизация, машинное обучение.

В данной работе рассматривается применение цифрового моделирования в тяжелом машиностроении. Описываются возможности компьютерного моделирования для оптимизации производственного процесса, повышения эффективности производства и улучшения качества продукции. Рассматриваются примеры применения цифрового моделирования и машинного обучения в тяжелом машиностроении. В заключении даются рекомендации по дальнейшему развитию тяжелого машиностроения в целом, и цифровых вспомогательных технологий на производстве, в частности. Авторы подводят итоги проведенного анализа и делают вывод о том, что внедрение цифровых и интеллектуальных технологий в тяжелом машиностроении является важным шагом в развитии отрасли, однако, для достижения максимального эффекта необходим комплексный подход к развитию отрасли, включающий в себя поддержку инноваций, квалификацию кадров и создание условий для роста конкурентоспособности предприятий.

Тяжелое машиностроение — это отрасль промышленности, которая занимается производством крупногабаритных машин и оборудования, используемых в различных отраслях, таких как добыча полезных ископаемых, строительство, металлургия, энергетика и т.д. В данной отрасли существует высокая конкуренция, а производство является трудоемким и требует больших финансовых затрат. Однако, применение цифрового моделирования и машинного обучения может значительно повысить эффективность производства, снизить затраты и улучшить качество продукции.

Цифровое моделирование позволяет смоделировать производственный процесс, определить и устранить возможные проблемы до начала производства [1]. Это снижает риски и затраты на производство, а также позволяет ускорить процесс создания новых изделий. Кроме того, цифровое моделирование позволяет проводить анализ данных, выявлять зависимости и определять оптимальные параметры производства.

Цифровой моделирование и информационное сопровождения производственного процесса входит в стек CALS-технологий. Это перспективное направление в области современных цифровых технологий, позволяющих поддерживать и оптимизировать жизненный цикл производств и продукции в сложных (наукоемких) производствах, в том числе в машиностроении. Аббревиатура CALS раскрывается как «Continuous Acquisition and Life cycle Support», или «Непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий» и подразумевает информационное сопровождение производственного процесса на всех его этапах, обеспечивающее выпуск высокотехнологичной и наукоёмкой продукции высокого качества. Процедура охватывает все стадии цикла — от разработки

проекта до контроля качества конечного продукта, и базируется на использовании передовой компьютерной техники и информационных технологий.

Примером применения цифрового моделирования в тяжелом машиностроении является процесс проектирования и моделирования станков с ЧПУ (числовым программным управлением). ЧПУ — это технология управления станками, которая позволяет автоматизировать процесс обработки материалов на станках. С помощью цифрового моделирования можно оптимизировать процесс обработки, уменьшить время производства и улучшить качество изготавливаемых изделий.

Кроме того, цифровое моделирование может использоваться для оптимизации производственных процессов в металлургии. В данном случае цифровое моделирование помогает определить оптимальные параметры производства, которые позволят достичь высокого качества продукции при минимальных затратах. Также цифровое моделирование может использоваться для моделирования работы грузоподъемных кранов и других крупногабаритных машин, которые используются в строительстве, добыче полезных ископаемых и других отраслях промышленности. Это позволяет ускорить процесс проектирования и сократить количество ошибок при производстве.

Ещё одним направлением перспективным направлением в области разработки цифровых технологий для поддержки и оптимизации производств является использовании технологии машинного обучения. Машинное обучение — это область искусственного интеллекта, которая позволяет компьютерам обучаться на основе данных, выявлять закономерности и прогнозировать результаты [2]. В тяжелом машиностроении машинное обучение может быть использовано для оптимизации производственных процессов, улучшения качества продукции и повышения эффективности производства. Ниже перечислены некоторые из способов, которыми машинное обучение может быть применено в тяжелом машиностроении:

1. Оптимизация процессов проектирования: машинное обучение может использоваться для анализа и обработки больших объемов данных, которые могут быть использованы для улучшения процессов проектирования машин и оборудования.

2. Оптимизация производственных процессов: машинное обучение может помочь улучшить производительность и точность производства, сократить количество ошибок и повысить качество продукции.

3. Предсказание отказов оборудования: алгоритмы машинного обучения могут использоваться для мониторинга состояния оборудования и предсказания возможных отказов, что может помочь предотвратить неожиданные простои и снизить затраты на ремонт и замену оборудования.

4. Улучшение систем безопасности: машинное обучение может использоваться для анализа данных о производственных авариях и несчастных случаях, чтобы улучшить системы безопасности на производстве.

5. Анализ больших объемов данных: машинное обучение может помочь обрабатывать большие объемы данных, такие как данные с датчиков и измерительных приборов, что может улучшить контроль качества продукции и уменьшить время на анализ данных.

6. Автоматизация процессов контроля качества: машинное обучение может использоваться для автоматизации процессов контроля качества продукции, что может снизить количество бракованных изделий и повысить качество продукции. Например, машинное обучение может помочь определить оптимальные параметры обработки материалов на станках с ЧПУ, что приведет к повышению точности и качества изготавливаемых деталей.

7. Прогнозирование спроса: машинное обучение может использоваться для анализа рынка и прогнозирования спроса на продукцию, что может помочь предприятиям тяжелого машиностроения принимать более обоснованные решения по планированию производства и управлению запасами.

Кроме того, машинное обучение может использоваться для определения неисправностей и предотвращения аварий на оборудовании [3]. Например, алгоритмы машинного обучения могут анализировать данные с датчиков, установленных на оборудовании, и выявлять неисправности или приближающиеся сбои в работе оборудования. Это позволяет оперативно предпринимать меры по устранению неисправностей и предотвращать аварии, что в свою очередь повышает безопасность и надежность производства. Таким образом, цифровое моделирование и машинное обучение представляют собой мощные инструменты для оптимизации производственных процессов в тяжелом машиностроении. Они позволяют ускорить процесс проектирования и сократить количество ошибок, повысить качество и точность производства, улучшить безопасность и надежность оборудования.

Развитие цифровых и интеллектуальных технологий в тяжелом машиностроении может привести к существенному улучшению производственных процессов и повышению конкурентоспособности предприятий в данной отрасли, что является особо важным фактором в современных реалиях. Отметим, что создание и поддержка цифровых систем для отечественного тяжелого машиностроения является необходимым, но не достаточным условием для благополучия данной отрасли в будущем. Необходима комплексная поддержка отрасли тяжелого машиностроения, в которую должны входить финансирование, развитие и внедрении новых, в том числе цифровых технологий на производстве, подготовка квалицированных специалистов, повышения престижа их работы.

Литература:

1. Краско А. С., Баранова Н. С., Боровик Т. Н. Использование цифровых моделей технологических систем для оценки эффективности проектных решений // Инновационные технологии в электронике и приборостроении : сборник докладов Российской научно-технической конференции с международным участием Физико-технологического института РТУ МИРЭА, Москва, 16–17 апреля 2020 года. Том 2. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2020. – С. 102–103.

2. Ордин, Д. К. Роль машинного обучения в машиностроении // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2022. – № 13. – С. 159–161.

3. Poteralski A, Szczepanik M. The application of artificial intelligence in the optimal design of mechanical systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016; 161(1):1-12.

Digital modeling of the production process in heavy engineering

Nigodin Yu.A. [1,a], Nigodin E.A. [2,b]

[1]MOAO «Sedin», 8 Zakharov St., Krasnodar, 350007, Russia
[2]Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russia
[a]n45n@mail.ru, [b]apostolje@gmail.com

Keywords: digital modeling, production process, heavy engineering, CALS-technology, computer modeling, optimization, machine learning.

This paper discusses the application of numerical simulation in heavy engineering. It describes the possibilities of computer modeling to optimize the production process, increase production efficiency and improve product quality. Examples of applications of numerical modeling and machine learning in heavy engineering are considered. The paper concludes with recommendations for the further development of heavy engineering in general, and digital assistive technologies in production. The authors summarize the analysis and conclude that the implementation of digital and intelligent technologies in heavy engineering is an important step in

the development of the industry, however, to achieve the maximum effect, a comprehensive approach to the development of the industry, including support for innovation, qualification of personnel and creation of conditions for the growth of competitiveness of enterprises is required.

УДК 621.8

Анализ комбинированных режущих инструментов и техническое решение повышения точности при механической обработке

Польшин А.А.[1,a], Голубева Н.Д.[1,b], Мальцев А.К.[1,c], Тихонов А.А.[1,d]

[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова 46, г. Белгород, Россия
[a] info@polshin.ru, [b] golubevanika1@gmail.com, [c] ardalion_bgtu@mail.ru, [d]cherep2240@rambler.ru

Ключевые слова: комбинированные инструменты, обработка отверстий, полезная модель, зажимной патрон, производительность, точность, надежность.

В статье раскрыты проблемы механической обработки детали режущим комбинированным инструментом. При обработке детали возникает смещение осей самой детали и комбинированного режущего инструмента, что приводит к браку в изделии. Чтобы уйти от этой проблемы было проведено патентное исследование в ходе которого было найдено две полезные модели, удовлетворяющих требования. Первая модель, а именно гидравлический затягивающийся зажимной патрон, был выбран, так как имеет несколько видов конструктивного исполнения и является универсальным. Он дает возможность создать высокоточную обработку направляющей втулки клапана и смежного с ней седла клапана. Вторая модель – гидравлический расширительный патрон. Его преимущество заключается в конструкции, которая позволяет гасить вибрации и удары, также дает возможность применения в длинных и узких конструкциях.

Комбинированные режущие инструменты представляют собой сочетание различных лезвийных инструментов, например, таких как: сверла-развертки, комбинированные резцы, круглошпоночные протяжки и т.д. [1]

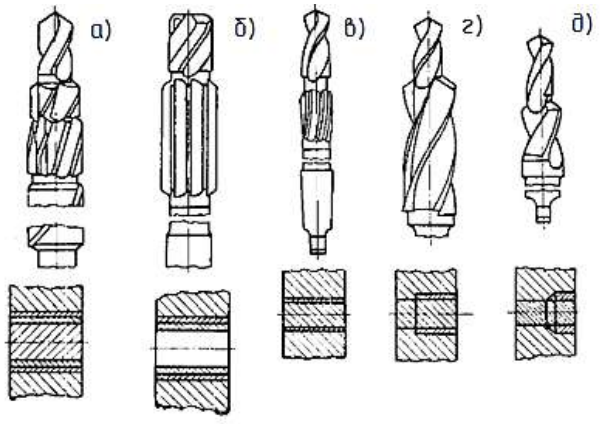


Рис. 1. Комбинированные режущие инструменты:
а – сверло-зенкер-развертка; б – зенкер-развертка; в – сверло-развертка; д – сверло-сверло

Данные инструменты применяются для повышения производительности при обработке отверстий в массовом производстве. При замене ряда инструментов одним комбинированным существенно сокращается время на замену инструмента, повышается

точность и качество механической обработки, сводится к минимуму возможность несовпадения осей инструмента и отверстия [2].

Сами комбинированные режущие инструменты крепятся на шпиндель сверлильного или же токарного станка с помощью сверлильного патрона, представленного на рис. 2-4. Благодаря им можно выполнять различные виды механической обработки, например, нарезку резьбы, как плашками, так и метчиками, фрезерование, зенкование, сверление и т.д [3].

Хотя комбинированные инструменты сводят к минимуму отклонения в обработке деталей, их конструкция нуждается в усовершенствовании [4].

Был проведен патентный поиск, проанализированы варианты по усовершенствованию комбинированного инструмента. Среди них был выбран более подходящая полезная модель №2424087, которая ставит задачу, заключающуюся в создании высокоточной обработки направляющей втулки клапана и смежного с ней седла клапана [5].

Решением данной задачи является другое исполнение зажимного патрона. Он выполнен в виде гидравлического затягивающегося зажимного патрона, имеющего полость обжатия, реализованный в виде кольцевого зазора с возможностью осуществления зажимного усилия.

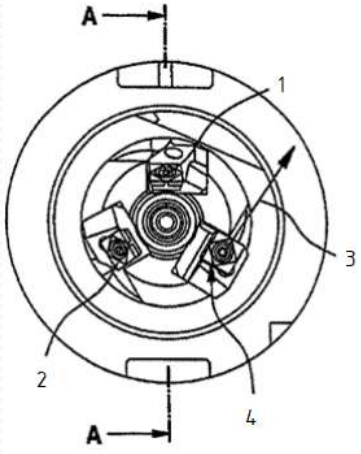


Рис. 2. Вид сверху на торцевую сторону комбинированного режущего инструмента:
1– зажимной винт, 2 – режущие пластины, 3 – тангенциальное направление, 4 – посадочное место

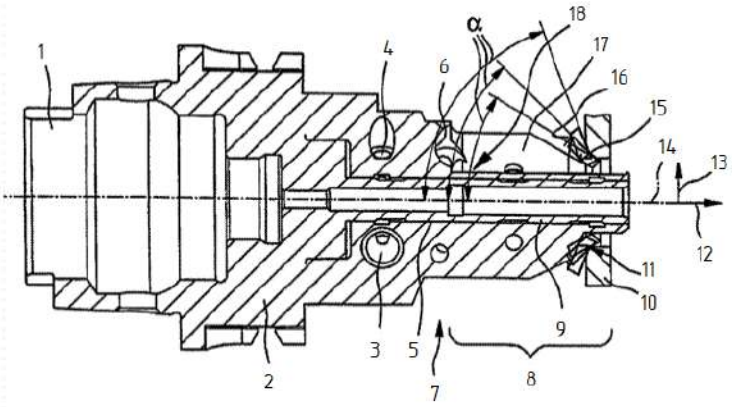


Рис. 3. Разрез комбинированного режущего инструмента вдоль линий А-А:
1 – задняя присоединительная часть; 2 – базовая основа; 3 – винт; 4 – установочный винт; 5 – кольцевой зазор; 6 – задняя стенка; 7 - гидравлический затягивающийся зажимной патрон; 8 – зона зажима; 9 – зажимная гильза; 10 – обрабатываемое кольцо; 11 – седло; 12 – осевое направление; 13 – радиальное направление; 14 – продольная ось; 15 – опорная поверхность; 16 – опорная сторона; 17 – кассета; 18 – кассетоприемник; α - угол раствора конуса

Данный патент был выбран за счет своей универсальности, так как у него есть несколько видов исполнения:

- режущие пластины могут быть расположены тангенциально,
- режущая пластина имеет режущий угол, которым режущая пластина в процессе обработки находится в контакте с обрабатываемой деталью,
- использование обычных кассет с радиально расположенными режущими пластинами и т.д.

Комбинированный режущий инструмент для подобных обрабатывающих процессов представлен в патенте WO2005097383, показанный на рис. 3.

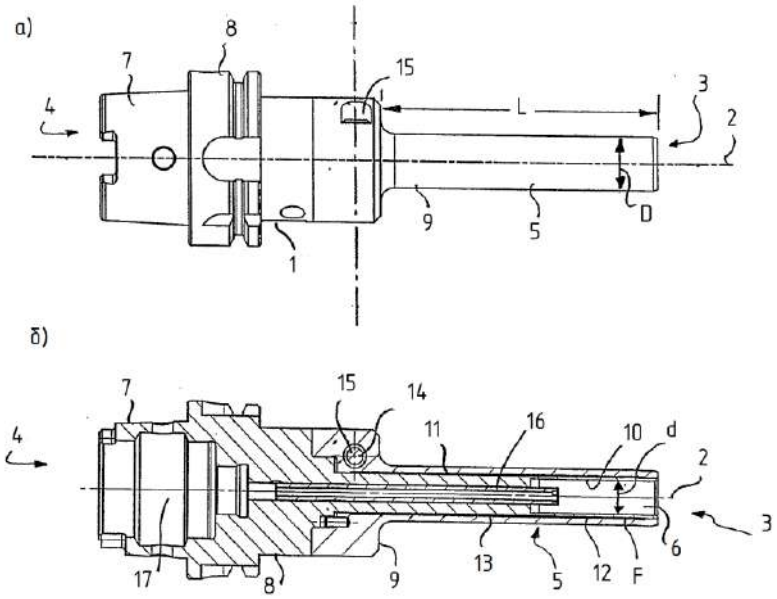


Рис. 4. Гидравлический расширительный патрон:
а – вид сбоку, б – продольный разрез,
1 – ударная поверхность; 2 – ось; 3 – конец патрона со стороны инструмента; 4 - конец патрона со стороны станка; 5 – шейка; 6 – приемник для инструмента; 7 – конус крепления; 8 – основной корпус; 9 – зажимная втулка; 10 – расширительная втулка; 11 – кольцевой зазор; 12 – барокамера; 13 – система подачи давления; 14 – блок создания давления; 15 – отверстие; 16 – цапфа; 17 – выходное отверстие; F – кольцевой зазор; D – наружный диаметр; d – внутренний диаметр; L – осевая длина шейки

Данный патрон выполняет функцию соединения токарного инструмента, как сверло или фреза, с ведущим шпинделем станка. Преимущество данного патрона заключается в том, что его конструкция позволяет гасить вибрации и удары, которые могут возникать во время работы станка, что повышает его срок службы. Также преимуществом патрона являются его геометрические параметры: данный гидравлический патрон может быть приведен в исполнение в длинных и узких конструкциях, которые имеют относительно небольшие усилия. И в свою очередь он имеет более выгодные эксплуатационные характеристики[6].

Производства, работающие по усовершенствованным, новаторским технологиям, применяют комбинированные режущие инструменты оригинальной конструкции, которые позволяют уменьшить вспомогательное время на замену инструмента, как было сказано ранее, и время машинное. Точно продуманная конструкция комбинированного инструмента позволяет увеличить производительность и надежность агрегата[7].

Литература:

1. Сахаров Г. Н., Арбузов О. Б., Боровой Ю. Л. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1989.—328 с.

2. Справочник инструментальщика. / под общ. ред. Ординарцева И. А. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. — 846 с.
3. Белецкий Д. Г. Справочник токаря-универсала. М.: Машиностроение, 1987.— 560 с.
4. Фельдштейн, Е.Э., Корниевич М.А. Режущий инструмент. Эксплуатация: Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2012. - 256 с.
5. Пат. 2424087 Российская Федерация, МПК B23B 27/14 (2006.01), B23B 29/034 (2006.01), B23D 75/00 (2006.01). Комбинированный режущий инструмент и способ обработки резанием просверленного отверстия и его поверхности, а также режущая пластина для подобного комбинированного режущего инструмента/Автор(ы): Леман Томас Кристиан, Эберт Гюнтер Альфред; заявитель и патентообладатель(и): КЕННАМЕТАЛ ИНК. № 2008135704/02, заявл. 01.02.2007; опубл. 20.07.2011, Бюл. № 20. 2 с.
6. Hydraulic expanding chuck [Electronic resource]. — Access mode: https://patents.google.com/patent/WO2005097383A1/en
7. Любимый Н. С., Романович М. А., Тихонов А. А., Бабкин М. С. Исследование температуры поверхности металл-металлополимерной детали при механической обработке плоским шлифованием. Белгород: Из-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. – 90 с.

Analysis of combined cutting tools and a technical solution for improving precision in machining

Polshin A.A.[1,a], Golubeva N.D.[1,b], Maltsev A.K.[1,c], Tikhonov A.A.[1,d]

[1] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation
[a] info@polshin.ru, [b] golubevanika1@gmail.com, [c] ardalion_bgtu@mail.ru, [d] cherep2240@rambler.ru

Keywords: combination tooling; hole-making operations; utility model; chuck; efficiency; accuracy; reliability;

The article reveals the problems of mechanical machining a part with a cutting combination tooling. When part cutting, a displacement of the axes of the part itself and the combined cutting tool occurs, which leads to the rejection of the product. To avoid this problem, a patent research was conducted, during which two utility models were found that conforming the requirements. The first model, namely the hydraulic tightening chuck, was chosen because it has several types of design and is universal. It enables high-accuracy machining of the guide bushing and adjacent valve seat. The second model is a hydraulic expansion chuck. Its advantage consists in its design, which allows damping of vibrations and shocks, as well as the possibility of using it in long and narrow structures.

УДК 621.9.048.4

Обработка пакета листовых заготовок на электроэрозионных проволочно-вырезных станках

Антипин В. А.[1,a], Малышев А. Н.[1,b]

[1] Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, ул. Баженова 2, Калуга, Калужская обл., Россия
[a]vladantipin.moy@gmail.com, [b]mal_alexn@yahoo.com,

Ключевые слова: эрозионная обработка, листовой материал, сборка листовых заготовок в пакет, зазор, стабильность процесса электроэрозионной обработки.

В статье описывается процесс пакетной обработки на эрозионном оборудовании, рассматриваются основные влияющие факторы на стабильность данного метода. Описываются способы сборки листовых заготовок в пакет.

Введение. При вырезке на эрозионном проволочном оборудовании листовых заготовок, собранных в пакет, наблюдается нестабильность процесса обработки, вызванная наличием зазора между заготовками. Продолжительная работа в таких условиях интенсивно изнашивает электрод-проволоку, что приводит к ее обрыву. До вырезки на эрозионном оборудовании листовые заготовки проходят ряд технологических операций для уменьшения этого зазора, такие как рихтовка и плоское шлифование [1].

Найдя способ обработки листовых заготовок, собранных в пакет без применения подготовительных технологических операций можно сократить трудоемкость технологического процесса, уменьшить время на изготовления изделия, сохранив качество получаемых деталей.

Целью работы является поиск оптимального способа сборки листовых заготовок для осуществления процесса резки на эрозионном проволочном оборудовании.

Пакетная обработка проволочным ЭЭ методом. Принцип пакетной резки заключается в одновременной обработке по заданному контуру нескольких листов, которые были предварительно собраны в единый пакет. Такой способ повышает производительность и снижает себестоимость готовой детали [5].

Большое значение для обеспечения точности пакетной резки имеет подготовка листов и правильная сборка пакета.

Листы, предназначенные для пакетной резки, рихтуются, очищаются от грязи, ржавчины и окалины. Особое внимание уделяется состоянию кромок заготовок, так как для обеспечения плотного прилегания листов друг к другу должны отсутствовать загибы, зазубрины и крупные заусенцы.

Еще одним параметром, влияющим на точность при обработке пакетированных заготовок, является выбор места начала врезания проволоки. При неправильно разработанной технологии врезания проволоки может быть нарушена жесткость собранных листов, что повлечет за собой образование прогиба. В связи с этим, при обработке внутренних контуров резку начинают с выполненных заранее отверстий. При вырезании наружных контуров обработку начинают либо с таких же отверстий, расположенных ближе к кромке детали, либо непосредственно с внешней стороны детали, но обеспечив при этом дополнительное фиксацию листовых заготовок между собой и столом станка.

Сравнение видов пакетов заготовок

Известно, что при обработке на электроэрозионных станках проволочного действия листовых заготовок, собранных в пакет и при величине зазора между листами свыше 0,5 мм в зоне обработки скапливается воздух, который препятствует нормальному протеканию процесса электроэрозионной обработки. Также влияние оказывает и количество листов, которые были собраны в пакет (рис.1) [1].

Например, по ГОСТ 19903-2015 прокат листовой горячекатаный начиная с толщины листа от 4 мм, имеет допуск равный или более 0,5 мм, поэтому приоритетом перед сборкой является рихтовка.

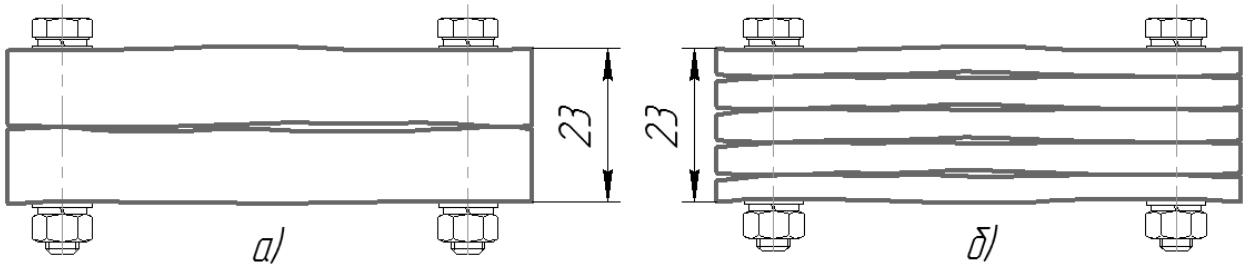


Рис. 1 Количество заготовок в пакете

Пакеты заготовок рис.1а и рис.1б имеют одинаковую высоту, но в первом случае пакет состоит из двух листов большей ширины, во втором случае пакет собран из 5 листов.

В обоих случаях величина зазора может быть невелика и эрозионная обработка возможна, однако в случае второго пакета воздух с нижних зазоров будет постепенно подниматься выше и скапливаться в верхних слоях. Из-за таких скоплений на обрабатываемой поверхности и проволоке появляется нагар в верхних зазорах и к моменту прохождения проволоки на последних зазорах под силой натяжения и температуры инструмент не выдерживает, следовательно, нужно стремиться к минимизации суммарного зазора и соответственно к оптимальному количеству листов в одном пакете.

В случае, когда требуется обработать множество тонкостенных деталей, как на рисунке 2 рационально использовать пакеты листовых заготовок со значительным их количеством, что требует дополнительного прижима заготовок между собой.

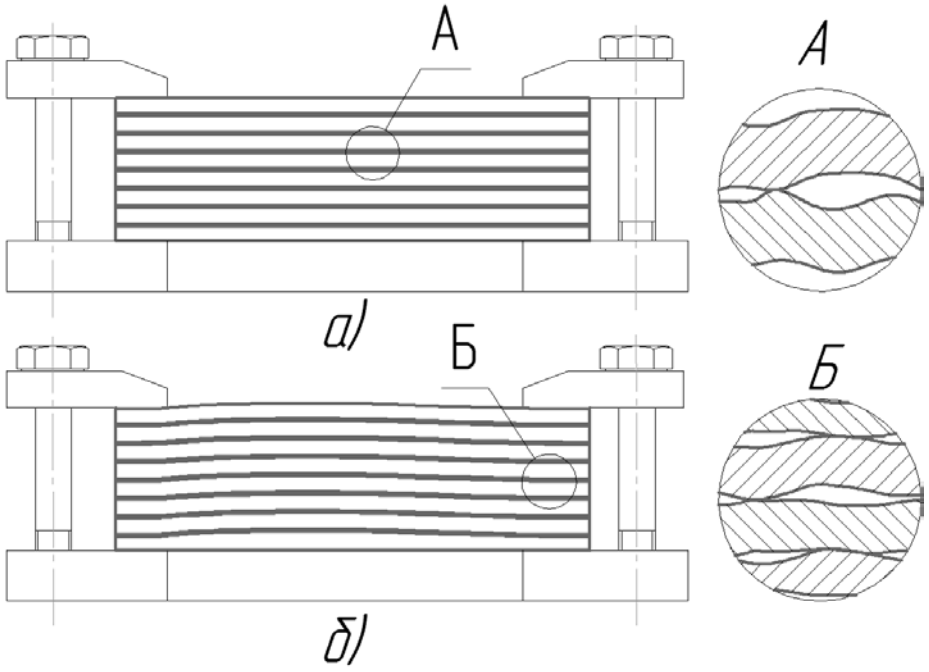


Рис. 2 Пакет с тонкостенными листами

До приложения сил (рис.2а) заготовки имеют большой зазор, а после их сжатия в зоне прихватов (рис.2б) зазор уменьшается, но из-за неравномерной нагрузки листы деформируются и изгибаются, что может привести к увеличению зазора в середине пакета. Решением в этом случая является использование дополнительных пластин, толщина которых значительно превышает обрабатываемые (рис. 3). Верхняя и нижняя пластина распределяют нагрузку более равномерно по всей плоскости, не давая заготовкам деформироваться.

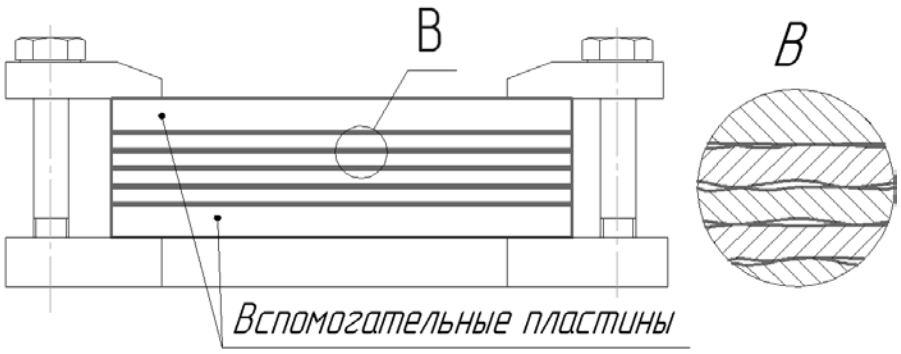


Рис. 3 Прижимной лист

Выводы. Из-за сильного влияния на стабильность процесса электроэрозионной обработки необходимо стремиться к уменьшению зазора, а одним из путей уменьшения зазора без дополнительной механической обработки является рациональный подход к сборке пакета на основе габаритных размеров, толщины и количества листов.

Литература:

1. Абляз Т.Р. Анализ состояния вопроса пакетной резки материалов методом проволочно-вырезной электроэрозионной обработки // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. ;URL: https://science-education.ru/ru/article/view?Id=20549.

2. Фотеев, Н.К. Технология электроэрозионной обработки. — Москва: Машиностроение, 1980. — 180 с.

3. Серебреницкий П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование: Учебное пособие. — 2-е изд., доп. и перераб. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 352 с.: ил.

4. Съянов С. Ю. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей при электроэрозионной обработке : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.08.- Брянск, 2002.- 166 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/1452-0

5. Абляз, Т. Р. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов : учебное пособие / Т. Р. Абляз, А. М. Ханов, О. Г. Хурматуллин. — Пермь : ПНИПУ, 2012. — 121 с. — ISBN 978-5-398-00762-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/160269.

6. Иванов В.А., Абляз Т.Р. Электроэрозионная обработка деталей сложного профиля, собранных в единый пакет // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. ;

Erosion machining of assembled workpieces

Antipin V.A.[1,a], Malyshev A.N.[1,b]

[1] Kaluga branch of the Bauman Moscow State Technical University, Bazhenova str. 2, Kaluga, Kaluga region, Russia
[a]vladantipin.moy@gmail.com, [b]mal_alexn@yahoo.com,

Key words: erosion machining, sheet material, sheet metal package assembly, clearance, stability of the erosion machining process.

This paper describes the batch machining process on eroding equipment and discusses the main factors influencing the stability of this method. Methods of assembling sheet metal workpieces into a batch are described.

УДК 621.923.01

Сравнительный анализ эффективности технологий обработки абразивным потоком и гидроабразивной обработки внутренних каналов сложной геометрии

П. А. Иванов[1,a], В.А. Левко[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a]Ivanov.Pasch.iva@yandex.ru

Ключевые слова: обработка абразивным потоком, гидроабразивная обработка, шероховатость, однородность поверхности

Проведен обзор современного уровня финишной абразивно-жидкостной обработки внутренних каналов сложной геометрии. Показаны основные недостатки и достоинства технологии обработки абразивным потоком и технологии гидроабразивной обработки. Сравнительный анализ эффективности технологий показал ряд преимуществ обработки абразивным потоком для формирования равномерной поверхности внутренних каналов сложной геометрии.

В машиностроении существует необходимость финишной обработки внутренних поверхностей каналов со сложной геометрией. Такие каналы характерны для ряда деталей. Пример могут служить прямые и изогнутые волноводы из различных материалов, в том числе полученные с помощью аддитивных технологий. В настоящее время для этих целей все большее применение находят такие методы абразивно-жидкостной обработки, в которых в роли инструмента выступает направленный абразивный поток (обработка абразивным потоком (АОП)) или движение струи с эффектом абразивного удара (гидроабразивная обработка (ГАО)).

Процесс гидроабразивной обработки заключается в подаче суспензии, состоящей из воды и абразива, на обрабатываемую поверхность заготовки. В результате такой обработки образуются чистые матовые поверхности без направленных рисок. Действие режущих кромок абразивных частиц на обрабатываемую поверхность непродолжительно и имеет ударный характер [1].

При удалении материала абразивной струей происходят следующие процессы: разрушение обрабатываемой поверхности в результате высоких контактных напряжений; срезание микростружки с поверхности; - образование клиновидных трещин в поверхностном слое обрабатываемой поверхности; гидроудар; контактная усталость.

Относительная роль каждого из этих явлений определяется физико-механическими свойствами материала обрабатываемой детали и абразивных частиц, а также скоростью и углом атаки абразивной струи в процессе гидроабразивной обработки.

Так после гидроабразивной обработки внутренних поверхностей цилиндрических образцов, выращенных из титанового сплава, наблюдается неравномерность обработки. Высокие пики на поверхности не были удалены (величина части из них осталась практические неизменной), но при этом величина маленьких пиков уменьшилась значительно. Отдельные пики, возникшие из-за эффекта баллинга (скручивание частиц в процессе формирования методом селективного лазерного сплавления), требуют увеличения времени на обработку [2].

Наибольший съем материала с образца происходил в первые 15 минут гидроабразивной обработки, что связано с интенсивным съёмом с поверхности образца

порошинок, образовавшихся из-за эффекта баллинга. Подобные частицы могут быть удалены струей воды без абразива, но при этом износ поверхности будет идти медленнее [3].

Отмечено, что при ГАО увеличение концентрации абразива, негативно сказывается на параметрах прокачивающего насоса [4]. При разных углах бомбардировки суспензии шероховатость изменялась в пределах 15…20% при этом размеры площади контакта абразивной частицы с поверхностью увеличиваются всего на 15 % [5].

В целом гидроабразивная обработка применятся в качестве финишной обработки внутренних поверхностей деталей. Однако при ГАО криволинейных, изогнутых каналов с высокой исходной шероховатостью и микротвердостью поверхности возникает значительная неоднородность обработки. Высока вероятность возникновения дополнительных дефектов поверхности на участках изгиба и скрутки, а так же в углах поперечного сечения заготовки.

Неоднородность обработки обусловлена механизмом контактных взаимодействий в процессе ГАО. Абразивное зерно находится в потоке вязкой рабочей среды (жидкости), в которой возникают только касательные напряжения. Такая жидкость не способна к накоплению в процессе течения упругих деформаций. Из-за этого основной съем материала при ГАО осуществляется за счет кинетической энергии, возникающей при соударении зерна с обрабатываемой поверхностью.

При этом величина составляющих сил резания зависит от скорости и угла соударения, физико-механических свойств контактирующих материалов, а также микрогеометрии зерна. Скорость потока среды при ГАО в среднем на три порядка больше, чем определяемая при обработке абразивным потоком. Для формирования однородной поверхности необходимо выдерживать постоянным расстояние и угол между соплом и обрабатываемой деталью, что для криволинейных поверхностей потребует применения специальных устройств [6].

Как известно, для обеспечения равномерности обработки прямых и изогнутых участков прямоугольных заготовок поток рабочей среды должен полностью копировать форму поперечного сечения по всей их длине. При этом поток среды должен обладать такими вязкоупругими свойствами, которые обеспечивали бы оптимальное сочетание скорости потока и его давления на внутреннюю поверхность канала. Таким свойствами обладает обработка абразивным потоком [7].

В основе метода ОАП лежит течение в обрабатываемой детали под высоким давлением (до 12 МПа) вязкоупругого (силиконового) материала, наполненного мелкодисперсными абразивными частицами. Поток рабочей среды принимает форму обрабатываемого канала и оказывает сжимающее давление на обрабатываемую поверхность, обеспечивая абразивный контакт. Упругое восстановления основы рабочей среды создает значительное дополнительные усилия на абразивное зерно, которые обеспечивают требуемые значения силы резания при меньших скоростях потока (скорости резания), чем при традиционной гидроабразивной обработки [8].

Микронеровность обрабатываемой поверхности на различных уровнях контактных взаимодействий с рабочей среды может испытывать упругие, упруго-пластические, пластические деформации или будет наблюдаться ее микрорезание или пластическое оттеснение. Как правило, на уровне микровыступов зерна происходят микрорезание и пластическое оттеснение, а на уровне абразивного зерна – упругая и пластическая деформации [9].

Моделирование и экспериментальная отработка обработки абразивным потоком внутренней поверхности изогнутых заготовок некруглого сечения показали, что при небольших скоростях сдвига (до 0,02 м/с) численные значения напряжений потока рабочей среды могут достигать величин порядка $3 \cdot 10^6$ Па [10].

Так обработка абразивным потоком обеспечила не только изменение направления и величины шероховатости поверхности от Ra = 1,3…1,8 мкм до Ra = 0,16…0,25 мкм латунной заготовки, но и увеличение микротвердости поверхности от 110 HV до 190 HV. С учетом рекомендаций по выбору вида и величины зерна наполнителя [11] обработку абразивным

потоком можно применять для отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей латунных прямоугольных заготовок [12].

При помощи ОАП средой средней вязкости прямоугольных каналов прямых волноводов из титанового сплава и алюминиевого сплава, полученных аддитивными технологиями, шероховатость поверхности удалось уменьшить по *Ra* с 7…12 мкм до 0,7…3,9 мкм. Это уменьшение позволило существенно уменьшить радиотехнические коэффициенты в передающих системах [13].

Сравнительный анализ эффективности технологий обработки абразивным потоком и гидроабразивной обработки внутренних каналов сложной геометрии показал, что обработки абразивным потоком позволяет обеспечить равномерную обработку всей внутренней поверхности скрученного, изогнутого в нескольких плоскостях канала сложной формы с высоким качеством поверхности и минимальными отклонениями по геометрии детали. Гидроабразивная обработка имеет преимущество при финишной обработке наружных поверхностей, при которой возможно обеспечение постоянства расстояния и угла между соплом и обрабатываемой деталью.

Литература:

1. Сущность и технологические возможности гидроабразивной обработки Тихонов Ан.А., Тихонов Ал.А., Шляхов Н.С. В сборнике: ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ (ИнМаш-2015). Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Новосибирский государственный технический университет, Бийский технологический институт, МИП Техмаш; Под редакцией Блюменштейна В.Ю. Баканова А.А. Останина О.А., 2015. С. 201-205.

2. Балякин А.В., Гончаров. Е.С. Улучшение качества поверхностного слоя изделий полученных методами аддитивной печати влияние гидроабразивно-кавитационной обработки на шероховатость и форму образцов, полученных с помощью селективного лазерного сплавления. В сборнике: "ОРБИТА МОЛОДЕЖИ" И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ КОСМОНАВТИКИ. Материалы VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Пермь, 2020. С. 247-250.

3. Hydroabrasive machining of internal channels of parts obtained by SLM. *Balyakin A.V., Goncharov E.S.* В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32038.

4. Балякин А.В., Гончаров Е.С. Гидроабразивная обработка титановых образцов ВТ6, полученных методом СЛС. Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2019. № 7. С. 112-116.

5. Крайнов, В. В. Эффективность дорнования в медных (волноводных) деталях / В. В. Крайнов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 5(107). – С. 225-229. – EDN TOEYWB.

6. Левко, В. А. Абразивно-экструзионная обработка. Современный уровень, проблемы и направления развития / В. А. Левко // . – 2006. – Т. 309, № 6. – С. 125-129.

7. Иванов, П. А. Перспективы обработки абразивным потоком внутренней поверхности изогнутых трубных заготовок прямоугольного сечения / П. А. Иванов, В. А. Левко // Металлообработка. – 2021. – № 4(124). – С. 11-19.

8. Левко, В. А. Научные основы абразивно-экструзионной обработки деталей / В. А. Левко. – Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2015. – 222 с.

9. Левко, В. А. Контактные процессы при абразивно-экструзионной обработке / В. А. Левко // Металлообработка. – 2008. – № 3(45). – С. 19-23.

10. Моделирование и экспериментальная отработка обработки абразивным потоком внутренней поверхности заготовок некруглого сечения / П. А. Иванов, В. А. Левко, О. В. Литовка // Металлообработка. – 2022. – № 3(129). – С. 24-34.

11. Выбор вида и величины зерна наполнителя при обработке абразивным потоком прямоугольных заготовок из цветных сплавов / П. А. Иванов, В. А. Левко // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2022. – Т. 25, № 2. – С. 6-13.

12. Анализ шероховатости и микротвердости внутренней поверхности латунной прямоугольной заготовки до и после обработки абразивным потоком. Иванов П.А., Левко В.А. В сборнике: РЕШЕТНЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ. материалы XXVI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2022. С. 566-568.

13. Mathieu Francois, Sangil Han, Frederic Segond, Corinne Dupuy, Mickael Rivette, Simon Turpauot, Mendi Mimouna, Ferdinando Salvatoe, Joel Rech and Patrice Peyre. Electromagnetic performance of Ti6Al4V and AlSi7Mg0,6 waveguides with laser beam, melting (LBM) produced and abrasive flow machining (AFM) finished internal surfaces. Journal of Electromagnetic Waves and Applications - Vol. 35, n°18, p.2510-2526 – 2021. https://doi.org/10.1080/09205071.2021.1954554

Comparative analysis the effectiveness of abrasive flow machining technologies and abrasive waterjet machining internal channels of complex geometry

P. A. Ivanov[1,a], V.A. Levko[1,b]

[1]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[a]Ivanov.Pasch.iva@yandex.ru

Keywords: abrasive flow machining, abrasive waterjet machining, roughness surface uniformity

The review of the current level of finishing abrasive-liquid machining of internal channels of complex geometry is carried out. The main disadvantages and advantages of abrasive flow machining technology and abrasive waterjet machining technology are shown. A comparative analysis of the effectiveness of technologies has shown a number of advantages of abrasive flow machining for the formation of a uniform surface of internal channels of complex geometry.

УДК 629.064.5

Применение актуальных технических приемов и методов автоматизации в сетях электроснабжения сектора машиностроения

Аветисян А.С.[1,a]

[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова,83, Иркутск, Россия
[a] avetisyan_geven@mail.ru

Ключевые слова: актуальные технические приемы, автоматизация, отрасль машиностроения, рост производства, уменьшение трат производства.

В научно-исследовательской работе подвержены анализу проблемы и способы улучшения систем автоматизации и регулирования в секторе машиностроения. Даны

инструкции для автоматизации на основе актуального и высоконадежного оборудования, что дадут возможность снизить число чрезвычайных происшествии на опасных объектах, а также сократить вероятность несчастного случая и травмы среди рабочего персонала вблизи устройств. Вместе с тем, появляется возможность уменьшить затраты на сервис оборудования, и в равной мере, произвести качественный рост количественного показателя выработки готового продукта.

Огромное обилие резервов энергоресурсов в Российской Федерации всегда являлось хорошей основой для формирования тяжелой промышленности. Потребление огромного количества электрической энергии алюминиевым производством принуждает найти более выгодные (дешёвые) энергоресурсы, получение которых не сопровождается огромными промышленными выбросами в окружающую среду.

Сейчас нужда на металл велика: его используют во многих секторах промышленной деятельности – авиационная и автомобильная промышленность, машиностроение, электропромышленность, строительство, химической комплекс, производства товаров массового потребления.

Технология получения алюминия заключается в огромном количестве емкостей в виде электролизных ванн для выплавки продукта из исходного сырья: глинозема, растворенного в расплавленном криолите (Na3AlF6).

Дно каждой ванны состоит из катода, а также электродов погружения в ванну – анодов. Аноды вводят в ванну с расплавленной массой, и в результате чего, происходит электролиз, алюминий высвобождается от сложного соединения иобразуется сам продукт.

процесс введения рамы с анодами в ванну механизирован и регулируется устройствами автоматизации. Эти устройства представляют собой, пускатели двигателей, что расположены на раме анодов, автоматические выключатели для защиты линий, а также реле для запуска команд пуска в цепях управления, что размещены в шкафу управления электролизером (ШУЭ). К сожалению, нынешние средства регулирования на сегодняшний день устарели. Они постоянно выбывают из строя, и ванна с расплавленной массой металла остается без регулирования.

Отсюда и происходят серьезные ситуации на промышленном предприятии, такие как, аварии и повреждения главного оборудования, травмы рабочего персонала. Так же происходят так называемые «анодные эффекты» внутри ванны электролиза металла. Образуется бурление пузырьков газов вокруг анодов, в результате чего, может возникнуть выброс массы металла и, впоследствии, уход ванны в аварийное состояние.

Для того чтобы это не допустить, нужны установки датчиков и устройств автоматизации, что дают возможность отправлять сигнал рабочему персоналу о появлении анодных эффектов, для своевременного реагирования. Так же средства автоматизации регулирования работой электролиза разрешат последующие задачи:

- уменьшение трат электроэнергии, в результате роста эффективности регулировки напряжения;
- понижение частоты анодных эффектов (явления, представляющее собой, поляризацию анода при электролизе расплавленных солей, что характеризуется резким повышением напряжения и соответствующим уменьшением силы тока);
- качество проверки рабочего персонала и поправки его деятельности;
- выявление чрезвычайных ситуации и уклонений в процессе работы.

На 1 месте по производству (53% всего произведённого первичного алюминия) и потреблению (59%) держится Китай. Россия на 5 месте по производству (2%) и третья по потреблению (6%). Снижение трат на произведение алюминия и роста объемов, даст хорошую почву, для развития внутреннего рынка России качественным дешёвым продуктом, а также создать достойную конкуренцию на мировом рынке алюминиевого сектора.

Литература:

1. Большев В.Е., Виноградов А.В. Перспективные коммуникационные технологии для автоматизации сетей электроснабжения. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 2 (42). С. 65-82.
2. Долецкая Л.И., Кавченков В.П., Солопов Р.В. ОЦЕНКА Эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей. Науковедение. 2015. Т. 7. № 6 (31). С. 103.
3. Фамин А.Д., Иванова А.С. Автоматизация распределительной энергетической системы. В сборнике: Тинчуринские чтения. Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. В трех томах. 2019. С. 163-166.
4. Аветисян А.С., Мухаева Л.В. Актуальные направления развития энергетического сектора российской федерации. В сборнике: Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы (современный мир в условиях глобальной турбулентности). Материалы VI Международной научно-практической конференции. Отв. редактор Т.А. Евсина. редколлегия: Ю.А. Кузнецова [и др.]. Кемерово-Новокузнецк, 2022. С. 19-21.

Application of current techniques and methods of automation in power supply networks in the engineering industry

Avetisyan A.S.[1,a]

[1]Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia
[a] avetisyan_geven@mail.ru

Keywords: current technical techniques, automation, machine building industry, production growth, reduction of production costs.

The problems and ways of improving automation and regulation systems in the mechanical engineering sector are analyzed in the research work. Instructions are given for automation based on up-to-date and highly reliable equipment, which will make it possible to reduce the number of emergencies at hazardous facilities, as well as reduce the likelihood of accidents and injuries among working personnel near the devices. At the same time, it becomes possible to reduce the cost of equipment maintenance, and equally, to increase the quantitative indicator of the production of the finished product.

УДК 006.86

Методы контроля и испытаний, применяемые на предприятиях, изготавливающие изделия повышенной точности

Рожкова Е.А.[1,a], Кустов А.В.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a] e_rozhok@vk.com,[b] alexkust@mail.ru

Ключевые слова: испытания, контроль качества, предприятия машиностроения, изделия, повышение точности.

В данной статье рассматривается обеспечение качества продукции предприятий. Тема работы тесно связана с ракетно-космической отраслью на стадии проектирования и изготовления деталей. Целью работы является оценка тех или иных методов контроля качества и испытаний, применяемых на предприятиях, производящих изделия повышенной точности и выявление более экономически выгодных, то есть менее ресурсно-затратных методов. Исследование данной тематики производиться с помощью логических рассуждений, основывающихся не только на научной литературе, но и на практических исследованиях, тем самым факты и рассуждения имеют более фундаментальное и каноничное умозаключение. В ходе работы определяются положительные и отрицательные стороны контролей качества и испытаний. Экспериментальное определение количественных и качественных специфик методов, которое проводится согласно установленным нормативам. Результаты исследования позволяют разобраться в данной теме, сравнить применяемые на предприятиях испытания и выявить наиболее точные методы контроля, которые можно применить на машиностроительных предприятиях для повышения точности исследования и измерения продукции ракетно-космической техники.

Введение. Перед поступлением на склад готовой продукции и отправкой потребителю готовые изделия должны быть приняты службой контроля качества (ОТК) предприятия с учетом технических требований, изложенных в ГОСТ Р 59312-2021 или в стандартах на конкретный вид продукции [1].

Контроль готовой продукции – это завершающий этап технологического процесса производства, на котором происходит общая проверка готового изделия, представляющая собой такой контроль изделий, по результатам которого принимается решение об их пригодности к использованию. Приемочный контроль включает приемо-сдаточные испытания – это контрольные испытания продукции при приемочном контроле – и периодические испытания – это контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые в объемах и в сроки, установленные нормативным или техническим документом, в целях контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения ее изготовления. Результаты данного контроля обязательно регистрируются в соответствующей документации (журналах). В зависимости от типа производства и полноты, контроль готовой продукции может назначаться: сплошным или выборочным, инспекционным, летучим и т.д. Используются такие средства контроля, как калибры, шаблоны, образцы и т.п. Требования к качеству изделий оговорены специальными техническими условиями на изделие и отраслевыми стандартами. Дефекты, возникающие в процессе производства, классифицируются следующим образом: по характеру возникновения, по стадии возникновения, по степени локализации, степени опасности, по расположению и ориентации относительно контролируемого сечения. По степени опасности дефекты относятся к критическим, значительным и малозначительным [2].

В ракетно-космической отрасли контроль качества и испытания деталей, являются неотъемлемой и важной частью производства. В процессе проектирования и изготовления элементы системы и весь космический аппарат в целом подвергаются целому ряду различных испытаний, целью которых, является обнаружение дефектов проектируемого изделия. Дефекты могут возникнуть в результате ошибок, допущенных в расчетах, неудачно выбранной конструкции, плохой сборки, отклонений от чертежа при изготовлении детали и т. п. Так, например, в практике проектирования ракетно-космической техники сложилась типовая классификация испытаний, в зависимости от назначения испытания обычно делятся на пять основных групп, таких как, оценочные испытания, испытания в имитируемых внешних условиях, контроль качества, испытания на надежность и специальные испытания.

Требования к точности геометрических параметров изделий. Качество продукции – это совокупность свойств, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Под свойством продукции подразумевается

объективная особенность, которая проявляется при создании, эксплуатации или потреблении изделия. Одним из главных параметров изделий являются их геометрические параметры, которые контролируются по отклонениям геометрических параметров от проектных. Их значения не должны превышать предельные, установленные в стандартах или рабочей документации на изделия конкретных видов. Значения предельных отклонений следует принимать в зависимости от значений допусков для соответствующих классов точности геометрических параметров по ГОСТ 246443 (табл.1) [3].

Таблица 1.

Ориентировочные рекомендации по выбору степеней точности

Степень точности	Характеристики поверхности	Пример применения	Метод механической обработки
3-4	В подвижных соединениях поверхности деталей, предназначенные для обеспечения высокой точности перемещения, а также малой утечки жидкости при больших давлениях и малых зазорах (с посадками H/f).	Основные рабочие поверхности станков высокой и повышенной точности. Скользящие поверхности деталей насосов и торцевых уплотнений.	Доводка, тонкая финишная притирка, тонкое шлифование, тонкое шабрение.
5-6	Поверхности деталей для обеспечения точного базирования при изготовлении и контроле, для точной установки рабочих подвижных поверхностей.	Рабочие поверхности станков нормальной точности. Базовые поверхности приспособлений. Трущиеся поверхности.	Шлифование, тонкое фрезерование и строгание, шабрение.
7-8	Поверхности деталей, предназначенные для обеспечения нормальной точности перемещения, центрирования или направления.	Номинально параллельные поверхности машиностроительных деталей средней точности. Рабочие поверхности кондукторов средней точности.	Шлифование, фрезерование и строгание, протягивание, литье под давлением.
9-10	Поверхности, предназначенные для обеспечения невысокой точности центрирования, направления и установки рабочих поверхностей.	Стыковые поверхности без взаимного перемещения при невысоких требованиях к герметичности и точности соединений.	Фрезерование, строгание, долбление.

Другим аспектом качества готовых изделий является формооснастка. Поэтому геометрические параметры изделий, точность которых зависит от точности неразъемных элементов форм и значений предельных отклонений, следует принимать в зависимости от значений допусков для соответствующих классов точности геометрических параметров [4].

[5].

Классификация средств контроля и предъявляемые к ним требования. В настоящее время активно развиваются и совершенствуются приборы автоматического контроля, т. е. измерения проводятся в отсутствие человека или с его минимальным участием. К этим средствам предъявляются следующие требования: низкая погрешность, высокая точность измерений, большой диапазон измерений, устойчивость к факторам воздействия внешней среды, надежность и долговечность, простота и безопасность в эксплуатации. Классификация современных средств контроля представлена ниже (табл. 2)

Таблица 2.

Классификация современных средств контроля

Классификационный признак	Тип прибора	Характеристика
по назначению	Универсальные	Предназначены для контроля длин и углов в определенном диапазоне вне зависимости от конфигурации контролируемого объекта
	Специальные	Предназначены для контроля специфичных элементов у деталей определенной геометрической формы или определенного параметра деталей вне зависимости от их геометрической формы
по методу контроля	Прямого действия	Позволяют контролировать непосредственно проверяемые величины
	Косвенного действия	Позволяют контролировать параметры, связанные с проверяемой величиной (точность обработки детали оценивается по положению режущего инструмента)
по характеру влияния на технологический процесс	Пассивные	Устройства производят контроль объектов, т. е. без вмешательства в технологический процесс
	Активные	Устройства производят контроль деталей непосредственно в процессе обработки. Позволяют управлять автоматически или вручную технологическим процессом
по степени автоматизации	Ручные	Операции контроля полностью осуществляется человеком
	Полуавтоматические	Автоматизированы одна или несколько операций контроля, необходимо участие человека в процесс оценки качества
	Автоматические	Операции контроля полностью автоматизированы и не требуют участия человека
по характеру взаимодействия контролируемого изделия и измерительного прибора	Контактные	В процессе контроля деталь и устройство находятся в контакте друг с другом
	Бесконтактные	Контроль параметров объектов производится дистанционно, прибор и деталь не контактируют
по массовости контроля	Сплошного контроля	Контроль осуществляется для каждой детали
	Выборочного контроля	Контроль осуществляется для нескольких деталей
по конструкции	Измерительные приборы	Предназначены для получения значений измеряемой величины в установленном диапазоне
	Измерительные установки	Совокупность нескольких приборов для измерений одной или нескольких физических величин
	Измерительные системы	Совокупность технических средств для измерения одной или нескольких величин и выработки измерительных сигналов
	Измерительно-вычислительные комплексы	Функционально объединенная совокупность средств измерений, ПК и вспомогательных устройств для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи

Сравнительный анализ разрушающих и неразрушающих методов контроля. Для контроля качества деталей применяются разные виды контроля, позволяющие выявить разные типы дефектов. Формально процедуры можно разделить на 2 категории - разрушающий и неразрушающий контроль.

Неразрушающий контроль включает разнообразные виды измерений. Проверке подвергаются не только функциональные, но и эксплуатационные характеристики. Например, измеряют плотность материалов, габариты элементов строительной конструкции и другие параметры. В ряде случаев неразрушающий контроль не может дать нужной информации: например, выявить фактическую прочность, жесткость, трещиностойкость конструкций, особенно в процессе научно-исследовательских работ, когда изучают новые материалы, конструктивные формы. В соответствии с ГОСТ 56542-2015 и в зависимости от лежащих в его основе физических процессов, он подразделяется на несколько видов: Магнитный, оптический, электрический, радиоволновой и другие [6-9].

Разрушающие испытания проводят на образцах-свидетелях, моделях и реже на самих изделиях для получения информации, прямо характеризующей прочность, качество или надежность соединений. К их числу относятся: механические испытания, металлографические исследования, химический анализ и специальные испытания. Механические испытания предусматривают статические испытания различных участков сварного соединения на растяжение, изгиб, твердость и динамические испытания на ударный изгиб и усталостную прочность. Такие испытания непосредственно направлены на измерение эксплуатационной надежности. Связь между измерениями контроля и свойствами материалов прямая, поэтому исключаются споры по результатам испытания и их значению для эксплуатационной надежности материала или детали. Недостатком является единичное испытание с разрушением может определить только одно или несколько свойств, которые могут влиять на надежность изделия в рабочих условиях [10].

Среди данных методов исследования наиболее целесообразным считается неразрушающий контроль. Входящие в данную категорию способы более доступны в финансовом плане в отношении к лабораторным испытаниям. Для получения наиболее точных результатов о состоянии деталей и полученных из них сборочных конструкций, используют в комплексе два и более метода неразрушающего контроля, каждый из которых взаимодополняет друг друга и позволяет частично проконтролировать полученные данные.

Некоторые конструкции современных средств контроля. Наиболее технологичными и сложноустроенными средствами контроля изделий в машиностроении являются координатно-измерительная машина (КИМ), которая представляет собой высокоточную видеосистему промышленного класса для измерения трехмерных деталей. Предназначена для измерения линейно-угловых размеров и отклонения поверхностей разного рода (рис.1).

Рис. 1. Трехкоординатная мультисенсорная координатно-измерительная машина

К особенностям данной машины относятся: управление системой ЧПУ, наличие функции сканирования двух и трехмерных деталей, моделирование процесса измерения, формирования CAD модели измеряемой детали и т. д. [11].

Измерительная видеосистема – следующая конструкция средства контроля в машиностроении (рис.2). Она предназначена для комплексного контроля линейных размеров и формы поверхностей валов сложной формы (ступенчатых, распределительных и т. д.), а также симметричных и несимметричных тел вращения. Особенности данной системы: абсолютный метод измерения не требует настроечного эталона, наличие системы температурной компенсации и управления с ЧПУ и т. д.

Рис. 2. Вертикальная измерительная сканирующая видеосистема

Контрольно-измерительная машина может быть компактной и представлять собой «руку» (рис.3).

Рис.3. Измерительная рука

Измерительная рука оснащена лазерным сканером и обладает высокой точностью и скоростью работы. Между лазерным сканером и портативной измерительной рукой не используется дополнительный кабель, это обеспечивает неограниченное перемещение измерителя относительно основной оси перемещения. Система предназначена для контроля линейно-угловых параметров и качества поверхностей. Управление установкой осуществляется с помощью оператора. Контрольно-измерительные машины портативного класса представляют собой лазерные трекеры.

Отличительными особенностями данной системы являются: малые габариты, что позволяет использовать их в труднодоступных местах; работа от аккумулятора; высокая производительность; наличие беспроводной связи с ПК; для обеспечения высокой точности система снабжается метрологическим устройством, таким образом, компенсируется влияние внешних факторов на измерения деталей.

Так же на станках применяют датчики контроля. Инфракрасный измерительный датчик представляет собой коммутационную контактную систему. При касании измеряемой поверхности детали измерительный щуп с помощью инфракрасного луча передает сигнал

приемнику станка. Бесперебойная передача данных между датчиком и приемником является главным критерием надежности измерения в станке [12].

Область применения. Одними из главных показателей применяемости средств контроля в машиностроении являются: стоимость, точность измерения, и временные затраты на контрольные операции. Согласно этим критериям в единичном производстве целесообразно применять сплошной контроль, пассивные, ручные, универсальные средства контроля (штангенциркули, микрометры, мерительные калибры, индикаторы и т. д.).

В серийном производстве к применению рекомендуются как универсальные, так и специальные, а также полуавтоматические и автоматические, пассивные и активные средства контроля. В данном случае выбор средств контроля напрямую зависит от подтипа производства, так как мелкосерийное производство мало отличается от единичного, а массовое схоже с крупносерийным.

В массовом производстве, где время на контрольные операции играют одну из самых важных ролей, необходимо использовать специальные, автоматические, активные средства контроля, также возможно применение мерительных калибров [13].

Перспективы развития средств контроля изделий машиностроения. Перспективным направлением развития средств контроля изделий машиностроения является применение новейших технологий. Использованием 3D сканирования позволяет создать новые измерительные приборы. В совокупности с ПК подобные средства могут предложить 3D модель контролируемой детали и сравнить ее с эталонной. Результаты контроля выводятся на экране, система указывает на несоответствия контролируемых параметров и дает заключение о соответствия изделия. Результаты могут быть также сохранены для дальнейшего анализа. Приборы с технологией 3D сканирования могут быть как стационарными, так и ручными, что расширяет их область применения.

Так же могут применяться средства контроля с искусственным интеллектом (ИИ). ИИ снимет с человека некоторые рабочие функции или вовсе его заменит, так как ИИ способна предсказать причины брака, прогнозировать время работы и смены режущих инструментов, вносить корректировки в технологический процесс и изменения в работу оборудования основываясь на результатах обработки информации, полученной в ходе процесса измерения. Первой ступенью в развитии искусственного интеллекта в области средств измерения является применение технологии самообучения. Технология самообучения начинает внедряться в средства контроля, она позволяет создавать программу измерения, сокращая участие человека в эксплуатации оборудования.

Прогресс также не обходит стороной ручные средства контроля. Принципы работы современных высокопроизводительных средств контроля переносятся на средства ручного контроля, в результате повышается их точность, надежность, эффективность и другие важные качества, необходимые для них.

Заключение. Современные средства контроля изделий в машиностроении являются технологичными устройствами и машинами, которые позволяют решать задачи с высокой точностью. имеют широкую область применения, это обуславливается разнообразием конструкций и принципов действия устройств. Рассмотренные системы контроля характеризуются высокой точностью, надежностью, долговечностью и низкой погрешностью измерений. Анализ достоинств и недостатков позволяет выделить наиболее успешные в применении средства контроля, а таковыми являются средства активного контроля, средства неразрушающего контроля, а также средства автоматического и полуавтоматического контроля. Остальные устройства отличаются более низкой точностью и более высокой погрешностью, поэтому они ограниченны в применении. Принцип работ активного прибора контроля деталей типа вал основываются на принципе прохождения лазерного луча через линзы и контур измеряемой детали, это подтверждает, что современные системы контроля обладают наилучшим качеством измерений. При выявлении достоинств и недостатков современных измерительных машин была выделена область их применения в соответствии с представленной классификацией. Необходимо отметить следующее – с

повышением уровня производства машиностроительных предприятий и требований к качеству изделий в эксплуатации необходимо совершенствовать средства контроля готовых изделий. В итоге можно отметить, что, произведя анализ средств контроля, были выделены наилучшие методы контроля деталей.

Литература:

1. ГОСТ Р 59312-2021. Ракетно-космическая техника. Порядок выбора, применения и проведения испытаний: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 февраля 2021 г. N 39-ст: дата введения 2021-02-05. - URL: https://docs.cntd.ru/document/1200178035 (дата обращения: 04.11.2022). – Текст: электронный;

2. В.И. Анурьев Справочник конструктора – машиностроителя: Справочник в 3 т. Т. 1/ В.И. Анурьев. - 8-е изд., перераб. И доп. Под ред. И.Н.Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с. – ISBN 5-217-02963-3;

3. ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 июля 1981 г. N 1423-ст: дата введения 1981-07-01. -URL: https://docs.cntd.ru/document/1200012213 (дата обращения: 04.11.2022). – Текст: электронный;

4. Л.Н. Брянский Краткий справочник метролога: Справочник/ Л.Н. Брянский, А.С. Дойников. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 79 с. – ISBN 5-7050-0177-0;

5. В.К. Кулешов Метрология, стандартизация и сертификация неразрушающих методов и средств контроля: учебное пособие / В.К. Кулешов, И.С. Филатов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008 – 81 с. ISBN 5-98298-321-7;

6. В.Н. Волченко Контроль качества сварки: учебное пособие для машиностроительных вузов/ В.Н. Волченко, А.К. Гурвич, А.Н. Майоров. - М.: Машиностроение, 1975. - 327 с. FB Б 75-8/1321;

7. ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 августа 2015 г. N 1112-ст: дата введения 2016-06-01. -URL: https://docs.cntd.ru/document/1200123257 (дата обращения: 04.11.2022). – Текст: электронный;

8. Н.П. Алешин Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие/ Н.П. Алешин. - 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2013. — 576 с. – ISBN 978-5-94275-695-6;

9. Е.В. Сударикова Неразрушающий контроль в производстве: учеб. пособие. Ч. 1/ Е.В. Сударикова. — СПб. - ГУАП, 2007. — 137 с. - ISBN 5-8088-0232-6 (Ч. 1);

10.ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 декабря 1981 г. N 5297: дата введения 1982-01-01. -URL: https://docs.cntd.ru/document/1200005367 (дата обращения: 04.11.2022). – Текст: электронный;

11. Легаев В. П. Приборы автоматического контроля и управления в машиностроении: учебное пособие / В. П. Легаев. – Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2009. – 123 с.;

12.А. С. Боровиков Приборы неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник: в 2 кн / под ред. В.В. Клюева. – М: Машиностроение,1986 – Кн. 1 – 487 с.; Кн. 2 – 351 с.

13.В. В. Кондашевский Методы и средства технического контроля в машиностроении и приборостроении : Межвуз. сб. науч. тр. / Омский политехн. ин-т; Под ред. В. В. Кондашевского, А. И. Савича. - Омск : ОмПИ, 1982. - 160 с.

Methods of control and testing used at enterprises manufacturing high-precision products

Rozhkova E.A.[1,a], Kustov A.V.[1,b]

[1]Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, prosp. them. gas. «Krasnoyarsk worker», 31
[a]e_rozhok@vk.com, [b] alexkust@mail.ru

Key words: testing, quality control, engineering enterprises, products, accuracy improvement.

This article discusses the quality assurance of enterprises' products. The topic of the work is closely related to the rocket and space industry at the stage of designing and manufacturing parts. The purpose of the work is to evaluate certain methods of quality control and testing used at enterprises producing high-precision products and to identify more cost-effective, that is, less resource-intensive methods. The study of this topic is carried out with the help of logical reasoning based not only on scientific literature, but also on practical research, thereby facts and reasoning have a more fundamental and canonical conclusion. In the course of the work, the positive and negative sides of quality controls and tests are determined. Experimental determination of quantitative and qualitative specifics of methods, which is carried out according to established standards. The results of the study allow us to understand this topic, compare the tests used at enterprises.

УДК 629.78

Анализ аддитивных технологий в машиностроении и в разработке ракетно-космических комплексов

Рожкова Е.А.[1,a], Кустов А.В.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a] e_rozhok@vk.com,[b] alexkust@mail.ru

Ключевые слова: технологии, 3D-печать, производство, автоматизация.

В статье рассматривается широкий спектр применений 3D-печати и других аддитивных технологий в космической индустрии. Описывается, как эти технологии позволяют создавать прочные и надежные детали и конструкции, такие как двигатели, клапаны, антенны, датчики, и устройства управления полетом с повышенной точностью и скоростью. Обсуждаются преимущества и ограничения аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли, а также возможности их применения в будущем. В целом, статья подчеркивает важность аддитивных технологий в развитии космических программ и исследований космоса. В статье также отмечается, что аддитивные технологии способствуют более быстрому и эффективному производству, что в свою очередь позволяет снизить затраты на создание деталей и конструкций для космических аппаратов и станций. Подчеркивается, что применение аддитивных технологий стимулирует создание новых видов материалов, которые могут быть использованы в космических программах, и это приводит к развитию новых технологий и возможностей

для космической индустрии в целом. В конце статьи отмечается, что несмотря на преимущества, использование аддитивных технологий также имеет свои ограничения и проблемы, которые будут решаться с развитием технологий и материалов.

В машиностроении, как и во многих других отраслях, технологические инновации и автоматизация являются краеугольными камнями конкурентоспособности. С каждым годом в этой отрасли появляются все более сложные технологии и системы производства, которые помогают повышать эффективность и качество производственных процессов.

Одной из наиболее значимых технологий в машиностроении является использование 3D-печати, которая в последние годы приобретает все большую популярность. Эта технология позволяет создавать детали с точностью до микрона, а также делать их более легкими и прочными. Кроме того, 3D-печать позволяет уменьшить стоимость производства, так как не требуется использовать дорогостоящие инструменты и приспособления.

Другой важной технологией является использование роботов на производственных линиях. Роботизация позволяет автоматизировать трудоемкие процессы и сократить время на производство деталей. Кроме того, роботы обеспечивают более точную и стабильную работу, что снижает количество бракованных деталей. Еще одной технологией, которая находит все большее применение в машиностроении, является использование сенсорных систем и интернета вещей. С их помощью можно мониторить работу оборудования, оценивать его состояние и принимать меры по предотвращению неполадок. Это позволяет сократить время простоев на производстве, снизить стоимость ремонтов и повысить качество производимых изделий.

Современные технологии и автоматизация играют важную роль в развитии машиностроения. Они позволяют повышать эффективность, повышать качество продукции и снижать затраты на производство. Отрасль должна активно внедрять новые технологии и совершенствовать существующую автоматизацию, чтобы оставаться конкурентоспособной и успешной в условиях быстро меняющегося рынка.

Аддитивные технологии (АТ), такие как 3D-печать, имеют все большее значение в ракетно-космической отрасли. Эти технологии позволяют производить сложные детали и конструкции с высокой точностью и быстротой. Они также уменьшают стоимость производства и сокращают время на создание прототипов и испытаний. Одним из примеров применения аддитивных технологий является создание двигателей для ракет. 3D-печать позволяет производить элементы двигателя из металла с точностью до микрона, что значительно повышает их производительность и надежность. Кроме того, этот метод позволяет уменьшить количество изделий, которые не соответствуют требованиям, что снижает издержки.

Еще одним примером использования аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли является создание космических антенн. Такие антенны обычно имеют очень сложную форму и изготавливаются из металлических сплавов, что делает этот процесс очень сложным и дорогостоящим. 3D-печать позволяет создавать такие антенны за короткий промежуток времени и с минимальными затратами. Кроме того, аддитивные технологии могут использоваться при производстве деталей для космических аппаратов и спутников. Это позволяет достичь высокой точности и четкости изделий, что повышает их производительность и уменьшает количество ошибок.

В целом, применение аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли является важным этапом развития техники. Эти технологии позволяют создавать более эффективные и надежные изделия, повышая производительность и снижая затраты. Кроме того, аддитивные технологии обеспечивают более быстрое и качественное производство, что становится все более важным в сфере космических исследований. Другим примером использования аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли является производство клапанов для ракетных двигателей. Такие клапаны должны быть очень

надежными и прочными, при этом иметь сложную форму. 3D-печать позволяет создавать такие клапаны с высокой точностью и четкостью, что существенно повышает их производительность и снижает затраты на производство.

Аддитивные технологии используют как в отечественном, так и в зарубежном производстве. С аддитивными технологиями в отечественном производстве работает команда молодых ученых из Самары и Санкт-Петербурга. Данная команда заявила о разработке нового 3D-принтера, способного печатать тугоплавкими и жаростойкими металлами. Данную установку рассчитывают применять с целью производства крупных узлов и деталей для авиакосмических двигателей [1].

В зарубежном производстве данные технологии применяет компания SpaceX для создания корабля CrewDragon. Данный корабль оборудован системой спасения из восьми двигателей SuperDraco, напечатанных при помощи технологии SLM-печати на 3D-принтере. Презентация корабля CrewDragon, также именуемого Dragon V2, состоялась в 2014 году. Космический корабль, предназначенный как для перевозки грузов, так и пилотируемых полетов, использует два вида силовых установок, включая 3D-печатные двигатели SuperDraco с регулируемой тягой. Аппарат уже доказал свою надежность: все запуски в его истории были успешными [2].

Кроме того, аддитивные технологии также используются при производстве космических оборудований, таких как специализированные датчики и устройства управления полетом. Такие изделия требуют нетрадиционных форм и конструкций, что делает производство сложным и дорогостоящим. 3D-печать позволяет создавать такие изделия с минимальными затратами и максимальной точностью. Наконец, аддитивные технологии могут применяться также при создании запчастей для космических аппаратов и станций. Это может быть критически важно для успешной работы космической программы, поскольку запчасти, особенно редкие и уникальные, могут быть сложно доставить на космическую станцию или заменить в случае необходимости. 3D-печать позволяет создавать запчасти на месте, что решает эту проблему.

В целом, использование аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли позволяет повысить эффективность и надежность производства, сократить время на создание прототипов и ускорить внедрение новых технических решений. Это поможет ускорить развитие космических программ и далее углубить исследования космоса.

Несмотря на ряд преимуществ, использование аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли также имеет свои особенности и ограничения. Например, 3D-печать может быть более медленной, чем традиционное производство. Кроме того, производственный процесс может быть ограничен выбором материалов, которые могут быть использованы для 3D-печати.

Также в некоторых случаях может возникать необходимость в специализированных устройствах, которые могут быть созданы только традиционными методами производства. В таких случаях аддитивные технологии не могут использоваться в полной мере, и производство может быть затруднено.

Несмотря на эти ограничения, использование аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли имеет огромный потенциал и будет продолжать развиваться в будущем. Большинство технологических проблем, связанных с использованием 3D-печати и других аддитивных технологий, будут решаться с развитием оборудования и материалов. Также стоит отметить, что с помощью аддитивных технологий возможно создание деталей и конструкций, которые ранее не были доступны. Это может привести к созданию новых видов космических аппаратов, более эффективных и безопасных, что открывает перед нами новые возможности для исследования космоса.

В большинстве своем крупные промышленные производства, предприятия машиностроительного, оборонного комплекса, работают с металлическими изделиями. Самые известные технологии - SLM, EBM, LENS, EBAM, Metal BJ, которые уже

используются в промышленности, так и новые технологии – MCP, MHD (Material Jetting), MELD [3].

Разные металлические аддитивные производства можно сравнивать по общим характеристикам: объем камеры построения, толщина слоя, производительность, стоимость, используемые материалы. Данные характеристики непосредственно влияют на параметры заготовки или детали, которые можно изготовить по аддитивным технологиям: размеры, точность/шероховатость, стоимость, время изготовления, физико-механические характеристики.

Выделим основные преимущества аддитивных технологий:

1. Стоимость вывода одного килограмма намного меньше, чем при обычных технологиях.

2. Коэффициент использования материала при традиционном производстве основных деталей двигателей авиакосмической техники составляет 0,05–0,2. Применение АТ позволяет повысить этот коэффициент до 0,7–0,9, что обеспечит значительное сокращение затрат на дорогостоящие материалы.

3. Сокращение длительности цикла и стоимости технологической подготовки производства новых изделий.

4. Основные детали горячей части двигателей современных летательных аппаратов, работающие, изготавливают из материалов с низкой обрабатываемостью резанием, поэтому понятен интерес создателей ГТД (газотурбинный двигатель) и ЖРД (жидкий ракетный двигатель) к АТ, позволяющим в ряде случаев снизить трудоемкость и себестоимость технологии [4].

На сегодняшний день АТ используют такие компании, как NASA, SpaceX, Airbus, Boeing и так далее, однако это не предел. С каждым днем таких компаний становится всё больше, поскольку преимущества производства ракет таких ракет в большей мере превышают недостатки.

Таким образом, использование аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли уже привело к значительным улучшениям в производстве и исследованиях, и эта тенденция будет сохраняться в будущем. Использование современных технологий позволяет нам смотреть в будущее с более оптимистичными перспективами и создавать более совершенные и надежные космические программы.

Литература:

1. Как аддитивные технологии помогают в ракетостроении и авиакосмической отрасли? [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://make-3d.ru/news/kak-additivnye-texnologii-pomogayut-v-raketostroenii-i-aviakosmicheskoj-otrasli/ (дата обращения 20.04.2023)

2. Федченко Т.А., Данилов Н.А., Халеков Я.А., Толстопятов М.И. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАКЕТОСТРОЕНИИ // Кронос. 2022. №6 (68). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-v-raketostroenii (дата обращения: 23.04.2023).

3. Бордачев, В. А. Применения аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли / В. А. Бордачев, Е. А. Рожкова // Машиностроение: новые концепции и технологии: Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 28 октября 2022 года. – Красноярск, 2022. – С. 23-26.

4. Аддитивные технологии для авиакосмической техники [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.3dpulse.ru/news/zhurnal-additivnye-tehnologii/additivnye-tehnologii-dlya-aviakosmiheskoi-tehniki/(дата обращения 21.04.2023)

Analysis of additive technologies in mechanical engineering and in the development of rocket and space complexes

Rozhkova E.A.[1,a], Kustov A.V.[1,b]

[1]Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, prosp. them. gas. «Krasnoyarsk worker», 31
[a]e_rozhok@vk.com, [b] alexkust@mail.ru

Key words: technology, 3D printing, manufacturing, automation.

The article discusses a wide range of applications of 3D printing and other additive technologies in the space industry. It describes how these technologies make it possible to create durable and reliable parts and structures, such as engines, valves, antennas, sensors, and flight control devices with increased accuracy and speed. The advantages and limitations of additive technologies in the rocket and space industry, as well as the possibilities of their application in the future, are discussed. In general, the article emphasizes the importance of additive technologies in the development of space programs and space research. The article also notes that additive technologies contribute to faster and more efficient production, which in turn reduces the cost of creating parts and structures for spacecraft and stations. It is emphasized that the use of additive technologies stimulates the creation of new types of materials that can be used in space programs, and this leads to the development of new technologies.

УДК 64.011.56

Инновации в области робототехники и автоматических систем в машиностроении

Дудникова С.А.[1,a], Борисова О.В.[1,b]

[1]Казанский государственный энергетический университет, ул. Красносельская 51, г. Казань, Россия
[a] miss.dudnickova2012@yandex.ru, [b] vladimirobna@mail.ru

Ключевые слова: робототехника, автоматические системы, машиностроение, инновация, роботы.

Статья рассматривает инновации в области робототехники и автоматических систем в машиностроении. В последние годы робототехника стала одной из самых быстроразвивающихся отраслей, и ее применение в машиностроении становится все более широким. Статья описывает новейшие технологии, такие как автономные роботы, системы искусственного интеллекта и машинное обучение, которые позволяют создавать более эффективные и точные производственные процессы. Также рассматриваются примеры применения роботов в машиностроении, такие как сварка, обработка металла, сборка и упаковка изделий. Статья подчеркивает, что использование роботов и автоматических систем в машиностроении не только повышает производительность и качество продукции, но и снижает затраты на производство и уменьшает риски для работников. В целом, статья демонстрирует, как инновации в робототехнике и

автоматических системах приводят к революционным изменениям в машиностроении и других отраслях промышленности.

Робототехника и автоматические системы в машиностроении являются одними из самых быстроразвивающихся областей в современном мире. Они используются в различных сферах, начиная от производства и заканчивая медициной и наукой. Робототехника и автоматические системы в машиностроении являются одними из самых быстроразвивающихся областей, которые постоянно вносят новые инновации и улучшения. С каждым годом появляются новые технологии и инновации, которые позволяют создавать более эффективные и универсальные роботы и автоматические системы. Однако, несмотря на все достижения, существуют проблемы, которые мешают полноценному развитию этой области.

Рассмотрим основные инновации в данной области. Развитие искусственного интеллекта. С помощью него роботы могут самостоятельно принимать решения и адаптироваться к изменяющейся среде. Это позволяет им выполнять более сложные задачи и увеличивает их эффективность. С помощью этой технологии роботы могут самостоятельно принимать решения и адаптироваться к изменяющимся условиям производства. Например, роботы могут определять оптимальный маршрут для перемещения по производственной линии, а также самостоятельно корректировать свою работу в случае возникновения проблем [1].

Разработка роботов, которые могут работать в условиях, которые опасны для человека. Например, роботы-пожарные могут входить в горящие здания и тушить пожар, не подвергая опасности жизнь пожарных. Также существуют роботы, которые могут работать на опасных производствах, где существует риск отравления или травмирования.

Разработка роботов, которые могут работать в условиях, где нет возможности использовать традиционные методы. Они обладают гибкими конечностями, которые позволяют им легко приспосабливаться к различным задачам и средам. Такие роботы могут использоваться в медицине, где им необходимо работать с чувствительными тканями, а также в производстве, где они могут выполнять задачи, требующие точности и гибкости [2].

Развитие роботов-коллаборатоpов. Они могут работать вместе с людьми на производственной линии, выполняя те задачи, которые требуют высокой точности и скорости. Роботы-коллаборатоpы могут также выполнять опасные задачи, такие как работа с ядовитыми веществами или взрывоопасными материалами.

Развитие роботов-дронов. Они могут использоваться в различных сферах, начиная от доставки товаров и заканчивая мониторингом окружающей среды. Роботы-дроны могут летать на большие расстояния и выполнять задачи, которые раньше были недоступны для человека.

Разработка роботов-манипуляторов, которые могут выполнять сложные задачи в производстве. Эти роботы оснащены датчиками и камерами, которые позволяют им точно определять положение и форму предметов, а также управлять инструментами для выполнения задач. Такие роботы уже используются в автомобильной и электронной промышленности, где они помогают ускорить производственные процессы и улучшить качество продукции [3].

Использование 3D-печати для создания деталей и компонентов для роботов и автоматических систем. Эта технология позволяет создавать детали с высокой точностью и качеством, что улучшает производительность и надежность роботов.

Активное развитие области автоматических систем управления производством в машиностроении. Они позволяют управлять производственными процессами, оптимизировать их и увеличивать эффективность. Такие системы могут использоваться в различных отраслях, начиная от производства автомобилей и заканчивая производством продуктов питания [4].

Однако не стоит забывать о недостатках. Одной из главных проблем является недостаток универсальных решений, которые могут быть применены в различных областях. Каждая отрасль имеет свои особенности и требования, и для того, чтобы создать эффективную автоматическую систему, необходимо учитывать все эти факторы. Кроме того, существует проблема недостатка квалифицированных специалистов, которые могут разрабатывать и поддерживать робототехнические системы. Однако, развитие робототехники и автоматических систем также вызывает опасения относительно потери рабочих мест и угрозы безопасности. Поэтому важно разрабатывать новые технологии с учетом этих факторов и обеспечивать соответствующую подготовку специалистов для работы с новыми технологиями [5, 6].

Робототехника и автоматические системы в машиностроении являются одной из самых быстроразвивающихся областей в современном мире. Существует множество инноваций, которые позволяют создавать более эффективные и универсальные роботы и автоматические системы. Развитие искусственного интеллекта, гибких роботов, роботов-коллаборатов и роботов-дронов, а также автоматических систем управления производством позволяют создавать новые возможности и решать сложные задачи, позволяют улучшать производительность, повышать качество продукции и снижать затраты на производство. Эти технологии имеют огромный потенциал для применения в различных отраслях промышленности и будут продолжать развиваться и улучшаться в будущем. Однако, для того чтобы достичь полного потенциала этой области, необходимо решить ряд проблем, таких как недостаток универсальных решений и квалифицированных специалистов. Важно помнить о необходимости учета социальных и экономических последствий внедрения новых технологий и обеспечения безопасности при работе с ними.

Литература:

1. Гречишников В.А., Пивкин П.М., Исаев В.В., Илюхин Ю.В., Воротников А.А., Романов В.Б. Инновационные решения инструментального обеспечения металлообрабатывающих и робототехнических комплектов в машиностроении // Инновации. - 2016. - №8. - С. 78-83.

2. Инновационные технологии в машиностроении // Образовательный портал URL: https://obrazovanie-gid.ru/referaty/innovacionnye-tehnologii-v-mashinostroenii-referat.html?ysclid=lgpjq85tv6972677843 (дата обращения: 20.04.2023).

3. Хуснутдинова Ю.З. ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014006322?ysclid=lgpjsjlotc929681239 (дата обращения: 20.04.2023).

4. Кайснер Э., Раффо Д., Вунш-Винсент С. Робототехника: прорывные технологии, инновации, интеллектуальная собственность // Форсайт. - 2016. - №2. - С. 7-26.

5. 10 потрясающих технологий в области робототехники // BORDER URL: https://jborder.ru/roboty/10-potryasayushhix-texnologij-v-oblasti-robototexniki/?ysclid=lgpk61xzcn723847361 (дата обращения: 20.04.2023).

6. Robotics and Intelligent Automation Revolutionizing the Tech World // MEDIUM URL: https://medium.com/swlh/robotics-and-intelligent-automation-revolutionizing-the-tech-world-2822616c8bb1 (дата обращения: 20.04.2023).

Innovations in the field of robotics and automatic systems in mechanical engineering

Dudnikova S.A.[1,a], Borisova O.V.[1,b]

[1]Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russian Federation

[a]miss.dudnickova2012@yandex.ru , [b]vladimirobna@mail.ru
Keywords: robotics, automatic systems, mechanical engineering, innovation, robots

The article considers innovations in the field of robotics and automatic systems in mechanical engineering. In recent years, robotics has become one of the fastest growing industries, and its application in mechanical engineering is becoming more widespread. The article describes the latest technologies, such as autonomous robots, artificial intelligence systems and machine learning, which allow you to create more efficient and accurate manufacturing processes. Also considered are examples of the use of robots in mechanical engineering, such as welding, metal processing, assembly and packaging of products. The article emphasizes that the use of robots and automatic systems in mechanical engineering not only increases productivity and product quality, but also reduces production costs and reduces risks for workers. In general, the article demonstrates how innovations in robotics and automatic systems lead to revolutionary changes in mechanical engineering and other industries.

УДК 621.9

Формирование правил распределения требований к сборке высокоточных изделий

Назарьев А.В.[1,a], Бочкарёв П.Ю.[1,b]

[1]Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», 403874 Волгоградская обл., г. Камышин, ул. Ленина, 6а; ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.
[a]alex121989@mail.ru, [b]bpy@mail.ru

Ключевые слова: методы достижения точности, высокоточное изделие, сборка, конструкторский размерный анализ, технологическая подготовка производства, размерная цепь, тип производства.

В данной статье формируются правила распределения множества требований к сборке высокоточных изделий по соответствующим подмножеством для гарантированного выявления тех из них, которые не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости, в рамках предложенной комбинированной стратегии реализации укрупненного блока проектных процедур проведения конструкторского размерного анализа. Применение указанной стратегии позволит эффективно осуществлять разбиение высокоточного изделия на структурные элементы с последующим проведением конструкторского размерного анализа. Кроме того, внедрение предложенных правил позволит совершенствовать математическое, методическое и алгоритмическое обеспечение, разработанное для реализации указанного укрупненного блока, и в дальнейшем выбирать в рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов рациональные технологии изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства многономенклатурных машиностроительных комплексов.

Одним из наиболее важных методов повышения эффективности машиностроительных производств является сокращение времени производственного цикла при выполнении требований к качеству и надежности изделий. Данный метод особенно актуален при изготовлении высокоточных приборов и машин. Однако в настоящее время отсутствуют методики, позволяющие комплексно решить поставленную задачу. Связано это, прежде

всего, с тем, что модернизация традиционных принципов и подходов по обеспечению требуемых выходных параметров подобных изделий происходит достаточно медленно, а современные системы автоматизированного проектирования обладают достаточно низкой степенью автоматизации [1-3].

Одним из возможных решений указанных проблем является разработанная система учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ) [4]. Однако для обеспечения однозначной связи между конструкторской и технологической подготовками производства и для более глубокой интеграции указанной системы в структуру Системы автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП) [5] необходима проработка подходов и методик, делающих возможным совершенствование укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий.

Разработанная комбинированная стратегия [6] позволяет выявлять все необходимые критичные (особо ответственные) требования к сборке и эффективнее проводить конструкторский размерный анализ высокоточных изделий. Однако необходимо провести совершенствование методологического, математического и алгоритмического аппарата по распределению множества требований к сборке по соответствующим подмножествам. В данной статье будет сформулирован ряд правил, который в дальнейшем позволит гарантировать выявление требований к сборке, которые не обеспечиваются методом полной взаимозаменяемости.

Применяемые методы достижения точности при сборке (точности замыкающего звена) согласно требованиям [7] представлены на рис. 1.

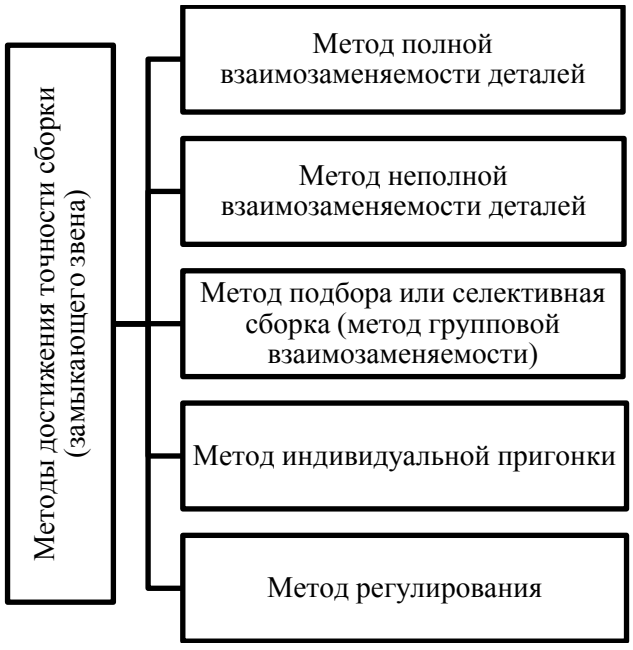


Рис. 1. Методы достижения точности при сборке

Разбиение изделия, узла, сборочной единицы позволяет выявить необходимые плоскости для проведения конструкторского размерного анализа и сформировать множество требований к сборке изделия и его составных частей $M_{\text{Т.С.}}$. Далее из полученного множества необходимо определить те его элементы, которые удовлетворяют условию

$$\text{ТБ}_{k_1,l}^{i,j} < \sum_{i=1}^{n_9} \text{ТА}_{k_1,m}^{i_1,j},$$

где Б – требования к сборке (замыкающие звенья); индекс i – порядковый номер требования (i=1…n_1); индекс j – номер плоскости, к которой принадлежит данное требование (j=1…n_2); индекс k – порядковый номер изделия (k=1…n_3); индекс l – порядковый номер сборочной единицы или структурного элемента (l=0…n_4); А – составляющие звенья конструкторской размерной цепи; индекс i_1 – порядковый номер составляющего звена (i_1=1…n_5); индекс k_1 – номер детали (k_1=0…n_6); m – порядковый номер размера в детали (m=1…n_6).

Данные элементы не обеспечиваются методом полной взаимозаменяемости и формируют соответствующее подмножество M_1. Остальные элементы обеспечиваются методом полной взаимозаменяемости и формируют подмножество $M_{\text{П.В.}}$:

$$M_1 = \frac{M_{\text{Т.С.}}}{M_{\text{П.В.}}}.$$

Далее необходимо определить характер элементов, составляющих подмножество M_1, т. е. разбить его на соответствующие подмножества:

$$M_1 = M_{\text{Н.В.}} \cup M_{\text{Г.В.}} \cup M_{\text{И.П.}} \cup M_{\text{РЕ}},$$

где $M_{\text{Н.В.}}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом неполной взаимозаменяемости; $M_{\text{Г.В.}}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом групповой взаимозаменяемости; $M_{\text{И.П.}}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом индивидуальной пригонки; $M_{\text{РЕ}}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом регулирования.

Для корректного распределения множества требований к сборке по соответствующим подмножествам необходимо выполнение ряда правил:

1. Если квалитет точности замыкающего звена равен или точнее 7, а квалитеты точности большей части составляющих звеньев грубее, то данные размерные цепи однозначно не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости.

2. Длина размерной цепи (количество составляющих звеньев размерной цепи) для параметров, обеспечиваемых методами полной, групповой взаимозаменяемости и методом регулирования составляет до 5 звеньев. Если же в размерной цепи 5 и более звеньев, то данные цепи, как правило будут обеспечиваться методами неполной взаимозаменяемости или индивидуальной пригонки.

.

Таблица 1

Зависимость типа производства от объема выпуска и массы изделий

Масса детали, кг	Объем выпуска изделий, шт				
	Единичное	Мелкосерийное	Серийное	Крупносерийное	Массовое
<1,0	<10	10…2000	1500…100000	75000…200000	>200000
1,0…2,5	<10	10…1000	1000…50000	50000…100000	>100000
2,5…5,0	<10	10…500	500…35000	35000…75000	>75000
5,0…10,0	<10	10…300	300…25000	35000…50000	>50000
>10,0	<10	10…200	200…10000	10000…25000	>25000

Таблица 2

Зависимость выбора метода достижения точности замыкающего звена от типа производства

Крите-рий	Методы достижения точности замыкающего звена				
	Метод полной взаимозаменяе-мости	Метод неполной взаимозаменя-емости	Метод групповой взаимозаменя-емости	Метод индивиду-альной пригонки	Метод регулиро-вания
Тип произ-водст-ва	Крупносерий-ное и массовое	Серийное и массовое производства	Крупносерий-ное и массовое производства	Единичное и мелкосерий-ное	Серийное

Таблица 3

Сводная таблица критериев выявления метода достижения точности размерной цепи

Критерий		Методы достижения точности замыкающего звена				
		Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод групповой взаимозаменяемости	Метод индивидуальной пригонки	Метод регулирования
Квалитет точности замыкающего звена равен или точнее 7, а квалитеты точности большей части составляющих звеньев грубее		-	+	+	+	+
Количество составляющих звеньев меньше 5		+	-	+	-	+
Тип производства	Единичное	-	-	-	+	-
	Мелкосерийное	-	-	-	+	-
	Серийное	-	+	-	-	+
	Крупносерийное	+	-	+	-	-
	Массовое	+	+	+	-	-
Составляющие звенья размерной цепи – ответственные размеры высокоточных ДСЕ		-	+	+	+	+

3. Выбор метода достижения точности для сборок, сопряжения которых не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости, зависит от типа производства, который в свою очередь зависит от объема выпуска и массы изделий. В соответствии с требованиями [8] различают единичное, серийное и массовое производства. Зависимость типа производства от объема выпуска и массы изделий приведена в табл. 1. Зависимость выбора метода достижения точности замыкающего звена от типа производства представлена в табл. 2

4. Если в состав рассматриваемой размерной цепи в качестве составляющих звеньев входят ответственные размеры прецизионных изделий (прецизионные подшипники, камневые опоры, прецизионные приборы и т.д.), то в большинстве случаев точность замыкающих звеньев подобных цепей не может быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости.

Сведем критерии полученных правил в таблицу 3 и укажем значимость каждого критерия для конкретного метода достижения точности (знаком «+» обозначим, что данный критерий применим для данного метода, знаком «-» - не применим).

Вывод. Таким образом, нами разработан ряд правил позволяющих совершенствовать методическое обеспечение выполнения комбинированной стратегии выявления критичных требований к сборке в части эффективного распределения множества выходных параметров высокоточного изделия по соответствующим подмножествам. В дальнейшем на основе предложенных правил будет осуществлена доработка математического и методического обеспечения указанной стратегии.

Литература:

1. Суслов, А.Г., Дальский, А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

2. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник - М. : Машиностроение, 2005. - 736 с.

3. Польский, Е.А., Сорокин, С.В. Технологическое обеспечение надежности деталей узлов трения наукоемких сборочных единиц // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 4 (77). С. 19-26.

4. Назарьев, А. В., Бочкарев П.Ю. Комплексный подход для выполнения технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе учета особенностей сборки высокоточных изделий // Справочник. Инженерный журнал. – 2019. – № 3 (264). – С. 35-42.

5. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю., Шалунов В.В., Разманов И.А. Определение рациональных уровней отсева вариантов проектных решений в системе автоматизированного планирования технологических процессов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2021. № 3. С. 48–56.

6. Назарьев, А. В., Бочкарев П.Ю. Стратегии выявления критичных требований технологического обеспечения сборки высокоточных изделий // Механики XXI веку. – 2022. – № 21. – С. 145-153.

7. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Ос-новные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. М.: Изд-во стандартов, 1987. 31 с.

8. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. М.: Изд-во стандартов, 1983. 8 с.

Formation of rules for the distribution of requirements for the assembly of high-precision products

Nazaryev A.V.[1,a], Bochkaryov P.Yu[1,b].

[1]Kamyshin Technological Institute (branch) of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Technical University», 6a Lenin Street, Kamyshin, Volgograd region, 403874, Russian Federation; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov», Teatralnaya square,1, Saratov, 410012, Russian Federation.
[a]alex121989@mail.ru, [b]bpy@mail.ru

Keywords: methods for achieving accuracy, high-precision product, assemblage, design dimensional analysis, process design, dimensional chain, type of production.

In this article, rules are formed for the distribution of a set of requirements for the assembly of high-precision products by the appropriate subset to ensure the identification of those of them that cannot be provided by the method of complete interchangeability, within the framework of the proposed combined strategy for the implementation of an enlarged block of design procedures for design dimensional analysis. The use of this strategy will make it possible to effectively divide a high-precision product into structural elements, followed by a design dimensional analysis. In addition, the implementation of the proposed rules will allow to improve the mathematical, methodological and algorithmic support developed for the implementation of this enlarged block, and in the future to choose rational manufacturing methods for manufacturing parts during the process design of multi-nomenclature machine-building complexes within the framework of the automated process planning system.

УДК 629.764

Обеспечения герметичности бака из композиционных материалов

Рожкова Е.А.[1,a], Кустов А.В.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a] e_rozhok@vk.com,[b] alexkust@mail.ru

Ключевые слова: баки, композитные материалы, преимущества, недостатки, хранение.

Преимущества и недостатки баков из композитных материалов рассматривает плюсы и минусы использования баков из композитных материалов. Автор упоминает легкий вес и высокую коррозионную стойкость, что позволяет использовать такие баки для хранения агрессивных химических веществ, а также уникальную возможность изготовления по индивидуальным заказам и высокую термоизоляционную способность. Однако, такие баки могут быть дороже, требуют специфических инструментов и методов для обслуживания и ремонта, а также могут иметь ограничения на хранение определенных веществ. Говорится о перспективе разработки баков из композитов, а также о возможном изготовлении в ракетах. Рассказывается о существующих баках из композиционного материала. В статье раскрываются достоинства и недостатки данных баков при изготовлении их для ракет.

Баки, изготовленные из композитных материалов, приобрели широкое распространение в различных областях промышленности, так как они обладают лучшими характеристиками прочности, легкости и устойчивости к коррозии, чем традиционные металлические баки. Однако, при работе с такими баками критически важно обеспечить их герметичность, чтобы предотвратить утечки жидкостей и газов, которые могут привести к серьезным последствиям, включая травмирование людей, нанесение ущерба окружающей среде и материальные потери.

Обеспечение герметичности бака из композиционных материалов начинается с правильного проектирования и выбора материалов. Конструкция бака должна обеспечивать надежный и плотный контакт соединения между различными элементами конструкции. Необходимо также убедиться, что все присоединительные элементы, такие как фланцы и крепежные элементы, соответствуют требуемым стандартам и обеспечивают герметичность, когда они крепятся друг к другу [1].

Как правило, большая часть топливных баков, используемых для содержания топлива, выполнена из металла, такого как алюминиевый сплав и, в частности, в авиации, все компоненты встроенного бака, или часть образующих бак компонентов, являются теми же металлическими компонентами, из которых выполнено основное крыло, и, следовательно, изготовлены из металла [2].

В последние годы в отрасли промышленности, связанной с производством транспортного оборудования, включая авиастроение, такие композиционные материалы, как армированные пластики, начали использовать для изготовления конструкционных элементов, в частности, корпуса самолета или основных крыльев, с целью снижения веса и соответствующего улучшения эксплуатационных характеристик [3].

Одним из важных аспектов обеспечения герметичности бака является выбор материалов для уплотнительных элементов. Например, кроме стандартных резиновых

уплотнений, существуют специальные композитные уплотнительные материалы, которые обеспечивают более надежную герметичность. Они специально разработаны для использования с композитными материалами и обеспечивают оптимальное уплотнение за счет своей эластичности и прочности.

Еще одним способом обеспечения герметичности бака является использование специальных покрытий на внутренней поверхности бака. Эти покрытия создают защитную пленку, которая предотвращает проникновение жидкостей и газов в материал бака и обеспечивает дополнительную защиту от коррозии и износа [4].

Также важно проводить регулярную проверку и техобслуживание баков, чтобы обнаруживать и устранять потенциальные утечки и проблемы своевременно. Регулярное тестирование бака на герметичность может включать использование технологий, таких как ультразвуковая дефектоскопия, визуальный осмотр и испытания на разрыв.

Одним фактором, который может повлиять на герметичность бака из композитных материалов, является температура и давление внутри него. При повышении температуры или давления внутри бака, материалы могут расширяться или деформироваться, что может привести к созданию микротрещин и пробоев в материале, и, следовательно, утечкам. Поэтому при проектировании композитных баков важно учитывать условия эксплуатации и обеспечивать достаточный запас прочности и устойчивости к давлению и температурным изменениям.

Наконец, следует отметить, что даже при наличии всех необходимых мер и средств для обеспечения герметичности бака из композитных материалов, риск утечки не может быть полностью исключен. Поэтому важно проводить корректное хранение и транспортировку жидкостей и газов, а также предпринимать меры в случае обнаружения утечек или нарушения герметичности. В целом, обеспечение герметичности бака из композитных материалов – это важный аспект безопасности, о котором нужно помнить при работе с подобными конструкциями [5].

Преимущества:

1. Легкий вес. Баки из композитных материалов имеют небольшой вес по сравнению с баками из металла, что облегчает их установку, транспортировку и эксплуатацию.

2. Коррозионная стойкость. Композитные материалы не подвержены коррозии, как металлы, что позволяет использовать баки из композитных материалов для хранения агрессивных химических веществ.

3. Долговечность. Композитные материалы обладают высокой долговечностью, не подвержены старению и усталости материала. Это обеспечивает более длительный период эксплуатации.

4. Изготовление по индивидуальным заказам. Баки из композитных материалов можно создавать по индивидуальным заказам, учитывая требования к размерам, форме, общей массе, необходимой прочности и т.д.

5. Термоизоляция. Композитные материалы имеют высокую термоизоляционную способность, что помогает сохранять температуру хранимых веществ.

Недостатки:

1. Цена. Баки из композитных материалов могут быть дороже по сравнению с баками из металла, что может быть недоступно для некоторых потребителей.

2. Устройство для обслуживания и ремонта. Баки из композитных материалов требуют специфических инструментов и методов для обслуживания и ремонта, что может быть проблемой в случае аварийных ситуаций.

3. Ограничения по хранению. Баки из композитных материалов могут иметь ограничения на хранение определенных веществ, например, несовместимых или нестабильных при высокой температуре или давлении.

4. Непрозрачность. Композитные материалы могут быть непрозрачными, что затрудняет наблюдение за состоянием и количество хранимого материала.

5. Утилизация. Композитные материалы могут представлять проблему при утилизации, так как они могут содержать опасные вещества и не утилизируются так легко, как металлические баки.

Пример бака из композита: Изобретение относится к области машиностроения, в частности к способам защиты баков. Композиционный бак для агрессивной жидкости содержит волоконную матрицу, снабжен генератором и приемником световых импульсов, соединенных между собой волоконной матрицей из оптически прозрачного материала. Один ряд оптических волокон расположен в композите эквидистантно вдоль оси вращения бака, а другой ряд оптических волокон расположен эквидистантно по одновитковым винтовым линиям. Одни концы оптических волокон собраны в пучок на днище бака и оптически соединены с генератором световых импульсов, другие концы оптических волокон собраны в пучок на противоположном днище бака и оптически соединены с приемником световых импульсов. На внутренних стенках днищ бака установлены манипуляторы, соединенные с гидронасосами, компьютером и источником питания. Манипуляторы соединены с основаниями телескопических выдвижных штанг, концы которых снабжены фторопластовыми щитами в форме сегмента стенки бака. В качестве рабочей жидкости телескопических выдвижных штанг используется транспортируемая агрессивная жидкость, подаваемая из бака в полости телескопических выдвижных штанг гидронасосами. Изобретение повышает экологическую безопасность при транспортировке агрессивных жидкостей, в том числе при пробитии стенок. [6] (см.рис.1.)

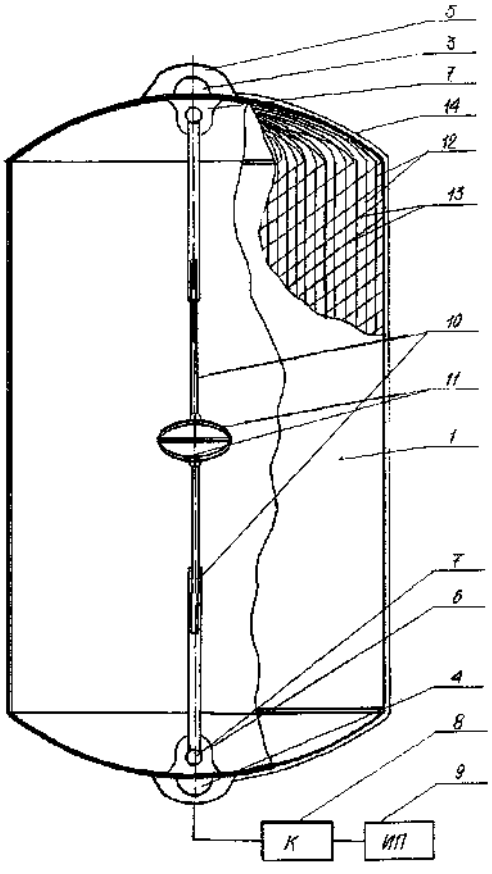


Рис. 1. Композиционный бак для агрессивной жидкости

В целом, обеспечение герметичности бака из композитных материалов – это важный аспект безопасности в работе с жидкостями и газами. Корректное проектирование и изготовление, использование специальных уплотнительных и защитных материалов, а также регулярное обслуживание и тестирование играют важную роль в обеспечении надежной герметичности композитного бака.

Литература:

1. Бак из композиционного материала, крыло и способ изготовления указанного бака [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://findpatent.ru/patent/249/2493085.html(дата обращения 12.04.2023)

2. Устинова А.П., Сюськина Ю.Л., Пешков Р.А. Оценка возможности применения композитного материала в конструкции криогенного конического бака ракетного блока // Известия вузов. Машиностроение. 2023. №3 (756). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vozmozhnosti-primeneniya-kompozitnogo-materiala-v-konstruktsii-kriogennogo-konicheskogo-baka-raketnogo-bloka (дата обращения: 20.04.2023).

3. Тимофеев Е.В., Ваулин С.Д., ред. Использование композитных материалов при проектировании стенок баков многоразовых ракет-носителей. Астероидная безопасность. Мат. III студ. науч.-тех. конф. Челябинск, ЮУрГУ, 2021, с. 56-62.

4. Исикава Я., Мори Х. Низкотемпературный резервуар и способ его изготовления. Патент РФ 2717931. Заявл. 25.10.2017, опубл. 26.03.2020.

5. Аюшеев Т.В. Геометрические вопросы адаптивной технологии изготовления конструкций намоткой из волокнистых композиционных материалов. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. 212 с/

6. Денисов О., Осяев О., Сахабудинов Р., Остапенко А. и др., Композиционный бак для агрессивной жидкости повышенной живучести с волоконно-оптической матрицей. Патент РФ 2305653. Заявл. 2005.12.06, опуб. 2007.09.10.

Ensuring the tightness of the tank made of composite materials

Rozhkova E.A.[1,a], Kustov A.V.[1,b]

[1]Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, prosp. them. gas. "Krasnoyarsk worker", 31
[a] e_rozhok@vk.com, [b] alexkust@mail.ru

Key words: tanks, composite materials, advantages, disadvantages, storage.

Advantages and disadvantages of tanks made of composite materials examines the pros and cons of using tanks made of composite materials. The author mentions the light weight and high corrosion resistance, which allows the use of such tanks for the storage of aggressive chemicals, as well as the unique possibility of custom manufacturing and high thermal insulation ability. However, such tanks may be more expensive, require specific tools and methods for maintenance and repair, and may also have restrictions on the storage of certain substances. They talk about the prospect of developing tanks made of composites, as well as about the possible manufacture in rockets. It tells about the existing tanks made of composite material. The article reveals the advantages and disadvantages of these tanks in their manufacture for missiles.

УДК 621.865.8

Необходимость применения матричного производства на отечественных заводах машиностроения

Мишин А. В.[1,a], Шалабай А.С.[1,b]

[1]Российский университет транспорта (МИИТ), улица Образцова, 9, стр. 9 Москва, Россия.
[a]alexeymishin89@gmail.com, [b]tema.schalabai@yandex.ru

Ключевые слова: матричное производство, автоматизация, роботизация, машиностроение, эффективность.

В статье рассматривается необходимость применения матричного производства на отечественных заводах машиностроения. Основная тематика связана с изменением технологии производства на отечественных заводах. Концепция заключается в замене существующего оборудования на кардинально новое, полностью соответствующее этапам развития промышленной автоматизации. Предполагаемые пути решения - разработка логистики в границах производства, разработка мер безопасности, разработка программной составляющей для рабочего оборудования. Суть рассматриваемой темы основана на роботизации и автоматизации большинства этапов производственного цикла по сборке автомобиля. Данное решение позволит обеспечить постоянную производительность, качество продукции, экономию ресурсов и отстранит человека от опасного, вредного и монотонного труда. Статья выполнена на актуальную производственно-техническую тему по роботизации производственного цикла на примере автомобилестроения.

Производство будущего все больше заставляет задуматься о переходе на новый уровень технических процессов на отечественных заводах промышленного производства. На сегодняшний день нужно задумываться о продвижении и улучшении отечественных стандартов производства особенно в преддверии 4 промышленной революции, когда производство полностью должно перейти на цифровое производство, поднять его уровень организации и управления на базе глобальной промышленной сети [1-3].

Сегодня во всем мире ведутся масштабные работы по созданию заводов будущего, а именно по внедрению в структуру производства интеллектуальных связанных процессов и транспортировки на основе киберфизических систем.

Такие заводы способны использовать передовые способы взаимодействия, самостоятельно реагировать и подстраиваться под имеющиеся задачи в режиме реального времени.

На сегодняшний день в мире существует несколько компаний, занимающихся разработкой оборудования и программного обеспечения (далее ПО), подходящего для реализации цифрового производства. Компания KUKA занимается разработкой ключевых технологий для создания новых высокопроизводительных и эргономичных систем [1].

Для отечественных заводов автомобилестроения все чаще возникает задача выпуска большего числа новых моделей с различными комплектациями. Концепция матричного производства способна обеспечить максимальную гибкость по всей линии выпуска. Иными слова при изменении программы производства система способна перестроиться в режиме реального времени.

Для реализации концепции матричного производства возможно применение роботизированных ячеек (РЯ). Достаточно объединить существующие РЯ в локальную сеть, оснастить их специализированным оборудованием для выполнения операций (рис.1).

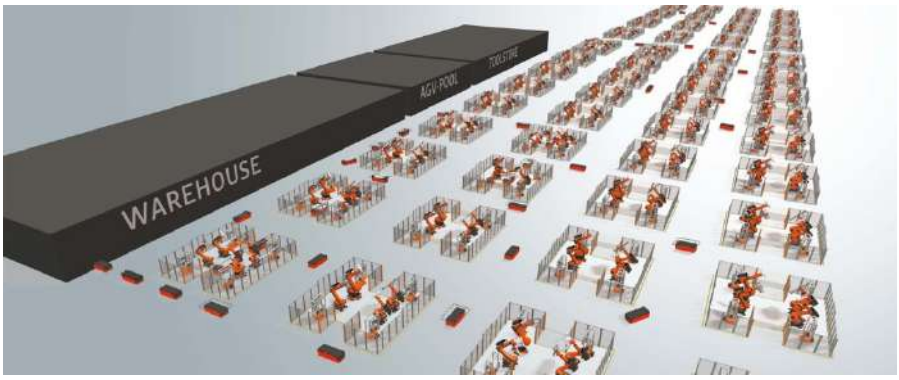


Рис.1. Пример концепции матричного производства

Например, установить промышленного робота, позиционеры, поворотные столы с необходимой технологической оснасткой. Для связи отдельных ячеек между собой и их функционирования применяются мобильные роботы.

Благодаря сквозной интеллектуальной цифровой магистрали, которая объединяет технологические процессы создания продукции, возможна быстрая и легкая реализация переналадки роботизированной ячейки на выпуск новой продукции без остановки производства.

Актуальность темы заключается в следующем:

- возможность увеличения числа выпускаемых исполнений продукции (матричное производство обладает высокой гибкостью);
- количество выпускаемой продукции не зависит от разнородности данной продукции, только от ее спроса;
- универсальность производства (возможность простого и надежного запуска новой продукции);
- удобство в обслуживании всего цикла производства.

Цель работы - разработка концепции матричного производства на отечественных заводах машиностроения на примере автомобилестроения.

Основополагающие задачи в работе: разработка компоновочного чертежа роботизированной ячейки (далее РЯ), разработка алгоритма рабочей программы для организации матричного производства РЯ, разработка принципиальной электрической схемы РЯ, разработка алгоритма работы для мобильного робота, разработка программного обеспечения для взаимодействия роботизированных ячеек.

Для большего понимания темы рассмотрим конкретный пример цикла сборки кузова автомобиля до процесса нанесения герметика. В прессовый цех поступают стальные листы, после чего листы укладывают на поточную линию и листы движутся к прессу, где им задают необходимую форму. Затем следует сварка всех частей кузова, после чего кузов монтируется на специальную тележку (стапель) для дальнейшего перемещения к технологическим позициям по сборке. После чего кузов пребывает к РЯ по нанесению герметика, где для уплотнения сварных швов и неплотностей наносится герметик [4].

На некоторых отечественных заводах существует в малых количествах необходимое для реализации идеи матричного производства оборудование. Например, на заводе АвтоВАЗ применяют мобильные платформы и промышленные роботы, но единой системы взаимной связи этих двух устройств не предусмотрено (рис.2) [5].

Для обеспечения необходимой работоспособности матричного производства используется следующие оборудование:

1. промышленный робот;
2. мобильный робот;
3. специализированное оборудование.

Рис. 2. Использование мобильной платформы на территории завода

Применение промышленных роботов вполне понятно, они необходимы для проведения основных работы, сварки или нанесения герметика. Их основные преимущества - это гибкость конструкции, высокий функционал и повторяемость.

Остановимся подробнее на мобильных роботах, рассмотрим рис. 3.

Робот отличается высокой мобильностью и гибкостью, а также автономным принципом работы. Высокая чувствительность: датчики момента на каждой оси робота делают его чувствительным к своему окружению.

Он перемещается безопасно и без защитного ограждения – при любом наружном контакте он сразу же останавливается.

Автономность: благодаря лазерным сканерам мобильная платформа перемещаться самостоятельно на основе технологии SLAM. Если на пути находится человек или предмет, она сразу же реагирует [6].

Данный робот может использоваться в качестве доставщика необходимого оборудования или запасных частей.

Рис.3. Мобильный робот

После этапа сварки кузова автомобиля необходимо доставить кузов к следующей операции. Для этого может использоваться мобильный робот в виде платформы (рис.4)

Автономное и гибкое складское управление. Мобильная платформа самостоятельно доставляет заготовки или возвращает детали на склад.

Рис.4. Мобильная платформа

Специализированная система навигации позволяет передвигаться в пространстве свободно без классических элементов наведения на траекторию. Это упрощает интеграцию в изменяющихся условиях, повышая экономичность управления логистическими процессами.

Грузоподъемность платформы до 1500 кг, платформа способна безопасно перемещать продукцию на протяжении всего производственного процесса. Встроенные лазерные сканеры безопасности делают возможным автономное передвижение на протяжении всего процесса производства.

Матричное производство обеспечит бесперебойность выпуска продукции. В случае выхода из строя РЯ и/или мобильного робота, работа не остановится, а будет автоматически проложен новый маршрут для участников (РЯ и мобильные роботы). ПО позволяет распределить работу между РЯ в момент отказа одной из ячейки, до восстановления работоспособности последней.

Рассмотренное оборудование можно использовать в процессе производства легковых автомобилей на всех этапах сборки автомобиля. Применение современного оборудования и ПО позволит обезопасить цикл сборки автомобиля, отстранить человека от тяжелого и небезопасного труда.

В дальнейшем предполагается разработка компоновочного чертежа двух этапов сборки автомобиля (сварка и герметизация), разработка принципиальной схемы, разработка алгоритма рабочей программы для организации матричного производства, разработка алгоритма работы для мобильного робота, разработка программного обеспечения для взаимодействия РЯ.

Литература:

1. Сайт KUKA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/10/matrix-production, свободный.

2. Сайт ХАЙТЕК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hightech.fm/2020/01/27/kuka-robots, свободный.

3. Сайт TADVISER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Четвертая_промышленная_революция_(Industry_Индустрия_4.0), свободный.

4. Мишин, А.В. Программно-аппаратная реализация роботизированной ячейки для герметизации сварных швов транспортных средств / А.В. Мишин, А.С. Шалабай // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: материалы международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ. - 2022. - С. 134-142.

5. Сайт TADVISER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Как_будет_выглядеть_производство_будущего_Взгляд_KUKA_Robotics, свободный.

6. Сайт IXBT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ixbt.com/news/2023/03/24/avtovaz-importozamestil-agv--teper-ih-delajut-na-samom-zavode.html, свободный.

The need to use matrix production at domestic machine-building's plants

Mishin A.V.[1,a], Shalabai A.S.[1,b]

[1]Russian University of Transport (MIIT), Obraztsova str., building 9, Moscow, Russia.
[a]tema.schalabai@yandex.ru, [b]alexeymishin89@gmail.com

Keywords: matrix production, automation, robotics, mechanical engineering, efficiency.

The article discusses the need for the use of matrix production at domestic machine-building plants. The main topic is related to the change in production technology at domestic factories. The concept is to replace the existing equipment with a radically new one, fully corresponding to the stages of development of industrial automation. The proposed solutions are the development of logistics within the boundaries of production, the development of security measures, the development of a software component for working equipment. The essence of the topic under consideration is based on robotization and automation of most stages of the production cycle for assembling a car. This solution will ensure constant productivity, product quality, resource savings and will remove a person from dangerous, harmful and monotonous work. The article is made on an actual industrial and technical topic on the robotization of the production cycle on the example of the automotive industry.
УДК 621.01

Порядок разработки функционально-ориентированных технологических воздействий для формирования поверхностных свойств детали

Михайлов А.Н. [1a], Котляров В.Б. [1b], Котляров С.Б. [1c], Котляров Б.С. [2d]

[1] Донецкий национальный технический университет, ул Артема, г. Донецк, ДНР, Россия
[2] Пгт Гаспра, переулок Восточный, Ялта, Республика Крым, Россия
[a] mntk21@mail.ru, [b] velidarkotlarov@mail.ru, [c] svetozar90@mail.ru, [d]boris.kotlyarov@mail.ru

Ключевые слова: деталь, часть, участок, зона, функция, обрабатываемая поверхность, функциональные признаки, технология, функционально-ориентированное технологическое воздействие.

В настоящей работе приведено описание результатов проведенных исследований, касающихся способов формирования поверхностных свойств обрабатываемых деталей согласно требованиям КД - конструкторской документации деталей на основе применения функционально-ориентированных технологических воздействий. Устанавливается взаимосоответствие свойств поверхностей, зон, участков и частей деталей и структурных схем технологических воздействий, формирующих эти свойства. Разные поверхностные участки деталей, участки частей и отдельные зоны частей деталей могут иметь специфические отличия, для чего требуются разные способы обработки. С целью обеспечения адекватного варианта обработки для каждой части поверхности производится подбор способа обработки из множества возможных схем технологических воздействий на основе рекуррентного итеративного перебора и приближения к оптимальному варианту технологии обработки.

Введение. Одной из основных задач в изготовлении механизмов машин и их деталей является получение изделия необходимой геометрической формы [1, 2] с заданными размерами и поверхностью, обладающей определенными качественными показателями. В настоящей работе рассмотрим вопросы формирования свойств поверхностей, исходя из функционального предназначения самих поверхностей деталей и их взаимосвязь с технологическими воздействиями, гарантирующими достижение установленных конструкторской документацией (КД) характеристических показателей.

В настоящей работе предпринята попытка систематизировать функционально значимые характеристики и признаки поверхностей деталей относительно функционально ориентированных технологических воздействий в процессе обработки. Рассмотрены функции поверхностей образованных деталей с точки зрения выполнения назначения в детали. Рассмотрены также технологические воздействия на обрабатываемые поверхности в плане их направленности на обеспечение конструктивных функций поверхностей.

Цель и задачи. Цель настоящей работы заключается в создании формализованной взаимосвязи функционально значимых функциональных признаков поверхностей детали, образующих формы частей, участков и зон деталей с комплексом функционально ориентированных технологических схем воздействия при самых разнообразных технологиях изготовления. Выявить схемы технологических воздействий, которые обеспечивают достижение заданных конструкторской документацией форм и очертаний всех частей обрабатываемой детали и заданные характеристики поверхностных свойств, особенно показатели качества, шероховатости поверхностей деталей.

Для достижения поставленной цели требуется решить некоторые частные задачи:

- установить возможные функции поверхностей деталей, выполняемые ими в процессе эксплуатации в составе машин;
- установить функциональные возможности функционально-ориентированных технологических воздействий на обрабатываемые поверхности и обеспечивающие формирование их свойства согласно КД в процессе изготовления;
- синтезировать множество структурных схем технологического воздействия на обрабатываемую поверхность инструментом с учетом основных форм исполнительных элементов, придаваемых движений инструментов (заготовки) относительно заготовки (инструмента), использования дополнительных материальных физико-химических, газовых и иных сред, позволяющих достигать требуемых характеристик и формируемых свойств поверхностей деталей.
- установить формализованную взаимосвязь требований КД - конструкторских документов к качеству обработанных поверхностей относительно шероховатости, функционально значимыми в эксплуатации, и функционально-ориентированными технологическими воздействиями, осуществляемыми в составе технологических обрабатывающих комплексов.

Основное содержание и результаты работы. В процессе изготовления деталей любым методом обработке подвергаются отдельные поверхности заготовки. Обработка производится различными инструментами и в разнообразных сочетаниях режимов – силы резания, скорости резания, величин подачи и др. В результате получается деталь с заданной геометрической формой и размерами.

Всего для любой поверхности можно выделить три элементарные формы и одну комбинированную, причем это могут быть наружные поверхности по отношению ко всей детали, внутренние или переходные. Все поверхности по видам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Виды поверхностей по форме проявления и локализации

Возможные виды геометрических форм поверхностей		
По форме поверхности	По внешнему проявлению	По локализации
Плоские Цилиндрические Криволинейные по заданному закону Комбинированные	Внутренние (охватывающие) Наружные (охватываемые) Переходные	Вертикальные Горизонтальные Наклонные

Все приведенные в табл. 1 виды поверхностей могут применяться в деталях в любых сочетаниях и комбинациях. При этом некоторые поверхности могут сопрягаться с поверхностями других деталей, а другие остаются свободными.

Функциональные задачи поверхностей деталей, в том числе частей, участков и зон участков деталей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Функциональные задачи поверхностей деталей

Основные функциональные задачи поверхностей деталей				
1	*2*	*3*	*4*	*5*
Свойства поверхности	Расположение в детали	Обозначение	Функциональные задачи	Факторы влияния
Формообразование		$F_{П_j}^{Ф_i^{k_{S_j}}}$	Формирование детали - геометрии и размеров	
Защитные (сохранность и стабильность)		$F_{П_j}^{З_i^{k_{S_j}}}$	Сохранять форму Сохранять размеры Сохранять структуру материала	Атмосфера Механические воздействия Рабочие химические
			Сохранять свойства поверхности Сохранять свойства материала	среды (жидкости, газы) Рабочие физические среды (электромагнитные воздействия, излучения, поля)
Ориентирующие координационные		$F_{П_j}^{О_i^{k_{S_j}}}$	Определять положение детали в системе координат Устанавливать положение детали относительно других деталей в механизме	Сфера проектирования и производства
Скрепляющие (фиксация)	Внутренние Наружные Переходные	$F_{П_j}^{С_i^{k_{S_j}}}$	Соединение с другими деталями в механизме	Фиксация неподвижная Соединение подвижное
Технологические		$F_{П_j}^{Т_i^{k_{S_j}}}$	Базы	Сфера производства Конструктивные Технологические Измерительные

Продолжение таблицы 2

1	*2*	*3*	*4*	*5*
Динамические	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{Д_i^{ks_j}}$	Передача усилий Восприятие усилий Стопорение (упоры)	Внешние или внутренние усилия любой природы
Кинематические	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{K_i^{ks_j}}$	Передача движений Восприятие движений	Прямолинейные Плоскопараллельные Вращательные Комбинированные
Отражательные и поглотительные	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{Отр_i^{ks_j}}$	Способность отражать, излучать энергию или воспринимать воздействие элементов окружающей среды	Тепловые Радиационные Химические Лазерные Оптические (световые)
Счетно-информационные	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{И_i^{ks_j}}$	Восприятие воздействий и счет импульсов Передача сигналов и импульсов	Механические воздействия Состояния среды Электромагнитные Электронно-лучевые Полевые
Эргономические	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{Эрг_i^{ks_j}}$	Удобство пользования Экономия пространства	Сфера эксплуатации
Эстетические	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{Эст_i^{ks_j}}$	Гармонические (соотношения формы, размеров, цвета, тактильность)	Сфера эксплуатации
Внешне-информативные	Внутренние Наружные	$F_{П_j}^{ВИ_i^{ks_j}}$	Надписи Символы Обозначения	Сфера эксплуатации Предупреждения Управление

Процесс изготовления деталей заключается в осуществлении таких взаимодействий обрабатывающих инструментов с заготовками, при которых обеспечивается получение формы детали по заданным чертежам с заданными поверхностными свойствами в заданных участках. Параллельно обеспечиваются требуемые свойства структуры материала для всей детали или в заданных зонах в значениях и пределах, указанных в конструкторской документации (КД). Каждая деталь проектируется с целью выполнения частной целевой функции в составе общей целевой функции механизмов и машин [1, 2,]. С целью обеспечения возможности ее реализации предпринимаются необходимые технологические воздействия [3, 4] инструментов на заготовки, необходимые в процессе изготовления для формирования свойств, установленных в КД деталей.

Указанные в табл. 2 функции поверхностей деталей относятся к категориям, разным по своему прямому назначению и способах реализации.

Важнейшей функцией для определения детали и автоматически образуемой в процессе изготовления деталей является – формообразование $F_{П}^{Ф}$. Одновременно проявляется функция сохранения и защиты геометрии и размеров детали в процессе эксплуатации $F_{П}^{З}$ - от коррозии, от температурных разрушительных воздействий, химических, механических ударов и др. Условные формализованные обозначения всех

функций приведены в третьей колонке табл. 2. В обозначениях индексы верхние и нижние означают выражаемые функции по существу и по принадлежности поверхности по топологии детали, а именно: F – общее обозначение функции, FП – это функция поверхности, а $F_{\Pi j}$ - функция поверхности j-ой детали.

Верхние индексы, обозначенные прописными буквами русского алфавита (Ф, З,…К), выражают сущность функционального назначения поверхности в составе детали, при этом нижний подиндекс *i* (*3i*) при символе сущности функции, прописанную в 1-ой колонке и расшифрованную в 4-ой колонке таблицы, указывает на *i*-ую часть поверхности общей детали, в составе которой находится *k*-ый участок (далее с зонами, макрозонами и микрозонами, опущенными в символах табличных обозначений), и все эти участки записываются в системе координат *j*-ой детали механизма. Общую структуру записи функциональной предназначенности *k*-ой части *i*-ой поверхности *j*-ой детали механизма можно представить в виде объединения множеств [5]:

$$F_{\Pi_j}^{\Phi_i\, k_{S_j}^{n(3_l,Мак_m,Мик_s,Нан_t)}} = \cup F_{\Pi_j}^{3_i\, k_{S_j}^{n(3_l,Мак_m,Мик_s,Нан_t)}} \cup F_{\Pi_j}^{C_i\, k_{S_j}^{n(3_l,Мак_m,Мик_s,Нан_t)}} \cup ... \cup F_{\Pi_j}^{ВИ_i\, k_{S_j}^{n(3_l,Мак_m,Мик_s,Нан_t)}} \quad (1)$$

где каждое из подмножеств, расположенных в правой части, указывает на проявление частной функции поверхности каждой части, участка, зоны макрозоны, микрозоны и нанозоны детали в соответствии с глубиной технологического воздействия при формировании поверхностных свойств как части целевой функции детали.

Опираясь на разработанную ранее матрицу частных функции частей, участков и зон деталей, описанную как целевые функции деталей, и представляющую множество всех функциональных проявлений для каждой конкретной детали, можно определить полное множество технологических воздействий на каждый элемент детали, включая все части поверхностей детали.

Весь комплекс функций поверхностей детали представлен как набор функционалов по направлениям проявления в отношении взаимодействий с внешними средами и объектами, а также по проявленным свойствам в отношении характеристик: по структурным характеристикам материала поверхностей; по показателям качества обработки; по сопротивляемости или приемистости внешних воздействий в каждой зоне.

Сущность и проявление функций поверхностей приведено в табл. 3.

Таблица 3

Проявление функций поверхностей

Связь функций с проявляемыми качествами поверхностей деталей			
1	*2*	*3*	*4*
Сущность функции	Характеристики	Способы обеспечения	Формализованное выражение функций (связь)
Формообразование	Податливость материала преобразующим поверхности воздействиям	Резание Деформирование Наращивание	$F_{Эn_i}^{\Phi_j^{k_s}\, n(3_i,Мак_m,Мик_n,Нан_t)}$
Защита	Сохранение свойств, приданных поверхности изначально	Формирование защитных пленок, в том числе диффузионных	$F_{Эn_j}^{3_i^{k_s}\, (3_к,Мак_v,Мик_h,Нан_p)}$
Ориентирующие	Постоянство относительного положения различных поверхностей детали	Жесткость связей Твердость Шероховатость	$F_{Эn_j}^{O_i^{k_s}\, (3_g,Мак_v,Мик_m,Нан_p)}$

Продолжение таблицы 3

1	*2*	*3*	*4*
Скрепление	Устойчивость против сдвигающих и отрывающих в соединении с другими деталями	Твердость Упругость Податливость Текучесть	$F_{Эn_j}^{C_i^{k_s}(З_g, Мак_v, Мик_m, Нан_p)}$
Технологические (базы)	Стабильность состояния поверхности, устойчивость против коробления, деформаций, разрушений	Стойкость Износостойкость	$F_{Эn_j}^{T_i^{k_s}(З_n, Мак_t, Мик_k, Нан_r)}$
Динамические	Сопротивление изгибным, скручивающим, разрывным сжимающим напряжениям на поверхности материала	Твердость Упругость Текучесть	$F_{Эn_j}^{Д_i^{k_s}(З_l, Мак_f, Мик_n, Нан_w)}$
Кинематические	Способность передавать движение (прямолинейное, вращательное, комбинированное)	Твердость Шероховатость Коэффициент трения (скольжение)	$F_{Эn_j}^{K_i^{k_s}(Зq, Мак_d, Мик_n, Нан_v)}$
Отражательные (поглотительные)	Способность отражать излучения, воспринимать их и передавать, а также генерировать свои излучения	Структура материала Шероховатость Цвет Магнитные свойства Прозрачность	$F_{Эn_j}^{Отр_i^{k_s}(Зu, Мак_g, Мик_f, Нан_h)}$
Счетно-информационные	Способность цикличности в восприятии или передаче импульсов или сигналов	Структура материала Шероховатость Электромагнитные свойства	$F_{Эn_j}^{Cu_i^{k_g}(Зq, Мак_u, Мик_m, Нан_b)}$
Эргономические	Способность принимать формы, удобные при тактильном контакте, включая экономию окружающего пространства	Утилитарность Шероховатость Прилипаемость Теплопроводность Электропроводимость Пористость	$F_{Эn_j}^{Эрг_i^{k_f}(З_h, Мак_g, Мик_b, Нан_n)}$
Эстетические	Способность вписываться в гармоническую концепцию окружающей среды	Геометрические формы Цвет и чистота Отражательность Шероховатость Пористость	$F_{Эn_j}^{Эст_i^{k_p}(З_u, Мак_k, Мик_i, Нан_j)}$
Внешне-информативные	Возможность с поверхности считывать информацию о продукте, правилах обращения, предупреждения	Чистота Сочетание цветов Шероховатость Отражательность Семиотика	$F_{Эn_j}^{ВИ_i^{k_n}(Зg, Мак_k, Мик_b, Нан_d)}$

Основная функция поверхности – функция формообразования реализуется автоматически в процессе изготовления детали. Практически все остальные функции поверхности требуют какого-либо дополнительного технологического инструментального воздействия, или обработки в определенной среде для изменения свойств. Это может быть термическая обработка, насыщение поверхности химическими элементами из газовой среды, обработка в химически активных жидкостях, облучение и др. Часто одних и тех же качественных показателей поверхности можно достичь различными способами воздействия [6, 7]. Например, можно насытить углеродом стальную поверхность в газовой или жидкой

среде; обеспечить образование карбидов металлов в поверхностном слое детали путем лазерного, плазменного или лучевого воздействия.

Чтобы однозначно и оптимальным образом выбирать способ технологического воздействия на поверхность заготовки, необходимо поставить получаемый от технологического воздействия эффект той функции участка поверхности, на которую это воздействие направлено.

В общем случае технологическое воздействие по формированию свойств поверхности обрабатываемой заготовки (детали) осуществляется инструментом в составе технологического комплекса, охватывающего кроме самого инструмента оборудования, технологическую оснастку, источник механического, физического, химического или энергетического воздействия, а также системы информационно-корректирующей, учетной и фиксирующей обратной связи. Все эти факторы необходимо учитывать в формализованном представлении структурной схемы технологического воздействия с учетом той функции детали, достижение которой это воздействие обеспечивает.

Для иллюстрации данного подхода к решению вопросов синтеза схем, формирующих заданные поверхностные свойства участков и зон деталей, приведен пример синтеза структурных схем обеспечения свойств поверхностей для блок-вала колес коробки передач, работающей без разрыва потока передаваемой мощности, представленной на рис. 1.

Все поверхности детали имеют обозначение буквами русского алфавита, а их топология определена в системах координат каждой части детали, а внутри частей каждый участок, зона, макро- и микрозона определены в своих системах координат, и могут быть приведены к общей системе координат детали путем преобразований.

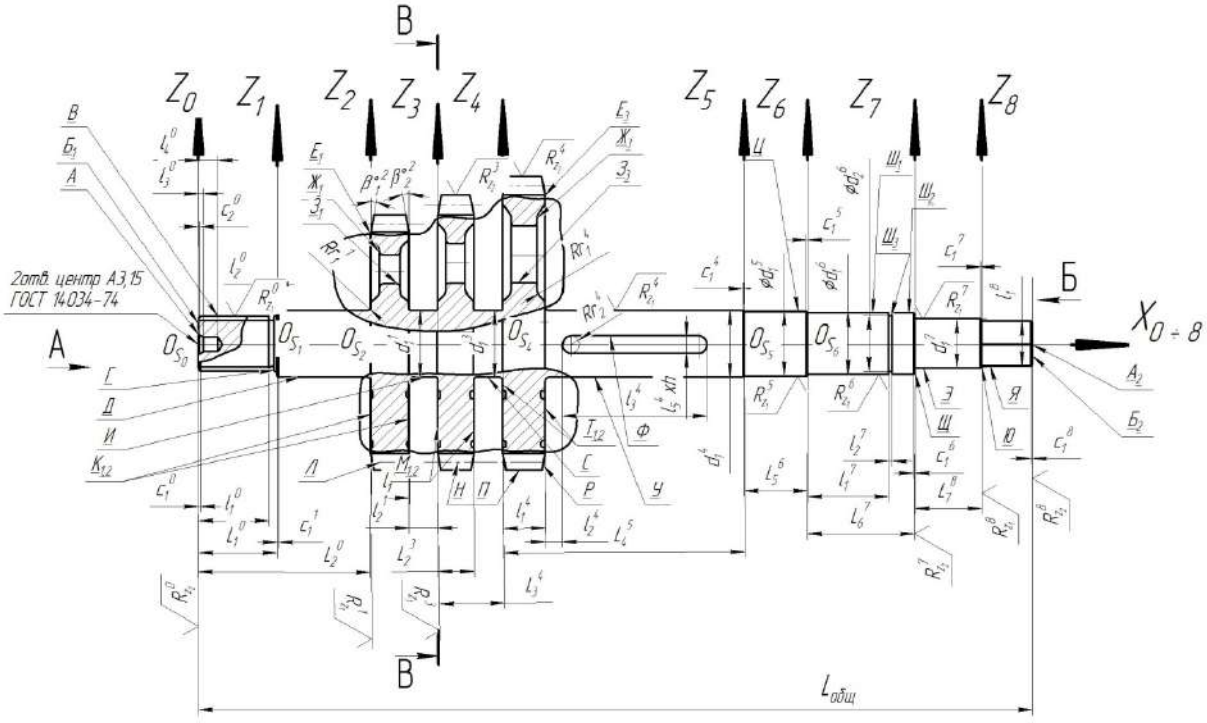


Рис. 1. Блок-вал колес КПП без разрыва потока передаваемой мощности

Качественные показатели согласно КД разных поверхностей отличаются и зависят от функционального назначения в рамках целевой функции детали. Часть поверхностей, которые по КД «свободные» и не имеют специфических требований к формированию определенных свойств, и функция которых заключается только в формообразовании и сохранении этой формы, образуются автоматически в процессе формообразования. Для

таких поверхностей качество определяется выбранными методом обработки и схемой формообразования, выбранным инструментом и режимами обработки. Для блок-вала на рис. 1 такими поверхностями являются поверхности под литерами Е, Ж, З, И, К, С Т с разными индексами, указывающими на аналогичные поверхности, относящиеся к похожим частям детали с одинаковыми функциональными назначениями.

Поверхности В и Ш являются опорными, сопрягаемыми с подшипниками качения и к ним повышенные требования по шероховатости, что требует использования схем обработки с функцией снижения величины шероховатости. Повышенные требования по чистоте поверхности предъявляются и к поверхностям Д и Ц, функция которых в точном позиционировании блок-вала колес относительно ведущего вала. Функционально-ориентированные схемы технологических воздействий для этих поверхностей должны включать в себя такие инструменты и энергетические составляющие при допустимых скоростях относительных перемещений, которые обеспечивают нужные параметры.

Функциональное назначение поверхностей Л, Н, П, Р имеют особенности в том, что они формируют элементы частей (зубья зубчатых венцов колес), работающих в режиме восприятия циклических нагрузок, причем в процессе взаимодействия с зубьями ведущей шестерни кроме контактных напряжений происходит работа в условиях трения по высоте зуба. Это приводит к необходимости расширения специальных качеств поверхностей, и кроме повышенных требований к чистоте обработки поверхностей повысить требования к увеличению твердости и износоустойчивости.

Еще в этом множестве поверхностей элементов имеются поверхностей группы зубьев, расположенных на каждом венце в определенном угловом секторе β_i, представленном на рис. 2.

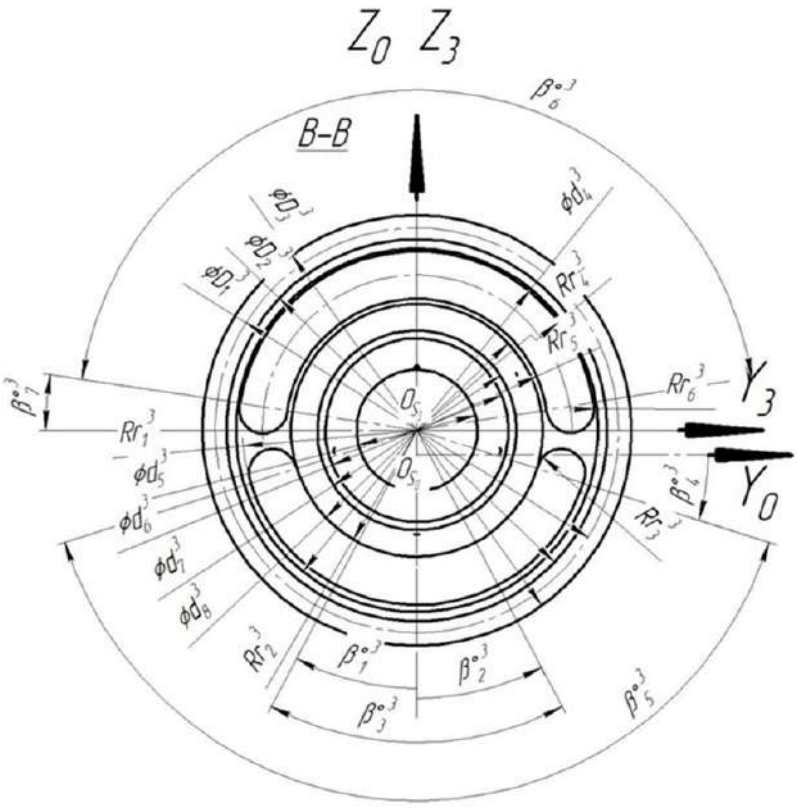


Рис. 2. Блок-вал колес (сечение блок-вала)

Угловой сектор β_3, который включает в себя секторы β_1 и β_2, расположенные по обе стороны от оси симметрии зубчатых колес блок-вала, где ось симметрии проходит по первому зубу венца каждого зубчатого венца, и лежит в общей плоскости симметрии всего блок-вала колес.

В полный угловой сектор β_3 попадает 4-5 зубьев на каждом зубчатом венце, но величина угла на каждом венце отличается вследствие того, что на разных венцах зубьев разное количество, т.к. разные их диаметры при одинаковом модуле зубчатой передачи. Значит на один зуб *k*-го венца приходится угол $\beta_{k_1}^{m} = \frac{2\pi}{Z_k}$, где Z_k – количество зубьев на венце, *m*- модуль.

Функциональное назначение этой группы зубьев $Z_{k_i}^{\beta_n}$ для *i*-го венца и *n*-го зуба является исходным фактором для назначения определенного значения шероховатости поверхности этих зубьев и определенной твердости, обеспечивающей повышенную износостойкость по сравнению с остальными зубьями венца.

Функциональное назначение каждой элементарной поверхности детали в общем случае является исходным элементом для конструктивной функции этой поверхности, которая заключается в качественных ее показателях: твердость, шероховатость, отражательная способность, поглощаемость, гигроскопичность и т.д.

Учитывая такое положение можно записать:

$$\Phi_{j_i^f}^{\Pi n_b^{S^{I,\theta}_{(X_bY_bZ_b)}}} = F\left[\Phi_{\sum j_i^f}^{\Pi_{n_b}^{S^{I,\theta}_{(X_jY_jZ_j)}}}\right], \qquad (2)$$

где Φ_j – означает функционал *j*-ой детали, а *f* – означает частную функцию *i*-го участка для *n*-го элемента и поверхности Π_b, записанной в координатах системы S_b детали с учетом ориентации элементов относительно ортов *I* и полярных углов θ; символ *F* – означает функцию конструктивных параметров от целевой частной функции Φ_j элемента детали, (определенную в системе S_j детали) и выраженную в конкретных величинах этих параметров – твердость, шероховатость и иные механические, физико-химические, энергетические, эстетические и др.

Основные эксплуатационные качества всех поверхностей деталей обеспечиваются механическими методами обработки с применением металлорежущего оборудования, а также методами пластической деформации. Методы и виды обработки с достижением различных параметров шероховатости [8, 9], достижимые известными в машиностроении видами механической обработки резанием и давлением [1, 6, 7, 10, 11, 12], для поверхностей различной формы и профиля приведены в табл. 4.

Приведена обобщенная формула структурной схемы функционального технологического воздействия на обрабатываемую поверхность детали, включающая все аспекты обеспечения требуемой по КД шероховатости поверхностей.

Структурный вид обобщенной формулы функционального технологического воздействия для формирования свойств поверхности можно записать выражением:

$$C_{j_i^{f_m}}^{\Pi_k^{b_{(X_k,Y_k,Z_k)}^{I\theta}}} M_{(Р,Л,Д,Э)}^{(1,2,\ldots,14)} = F\left[\Pi_{j_i^f}^{\Phi_k^{S(Xj,Yj,Zj)}}\right], \qquad (3)$$

где символ *C* – означает структурную схему технологического воздействия; $j_i^{f_m}$ - означает f_m-ю функцию из *i*-го множества функций для *b*-ой поверхности Π^b *j* ой детали механизма с комплексом требуемых свойств к одной поверхности; $\Pi_k^{b_{(X_k,Y_k,Z_k)}^{I\theta}}$ - указывает на Π поверхность *b*-ой зоны *k*-го участка, локализованного в системе координат S_k (X_k, Y_k, Z_k) с ортом I_k *k*-го участка в декартовой системе координат или в полярной системе координат с

угловыми отклонениями $\theta_{(X,Y,Z)}$ вектора точки определяемой поверхности относительно ординат (X_k,Y_k,Z_k); символ $M^{(1,2,...,14)}_{(P,Л,Д,Э)}$ – указывает на метод обработки – резание, литье, деформирование и т.д., а также параметры достигаемой шероховатости поверхности ГОСТ 2789-73 (с возможностью обеспечения величины шероховатости поверхности по специальному требованию КД).

Общая формула, связывающая подлежащую поверхность детали дополнительной обработке с целью повышения качества обработки и функционально-ориентированное технологическое воздействие можно записать в следующем виде:

$$П^{ГД^{S_{j(X_jY_jZ_j)}}_{k.m,...n}}_{\sum Ф^{П_j}} = Ф^{Пn^{S^{I,\theta}_{(X_bY_bZ_b)}}_{b}}_{j_i^f} \cup C^{П_k^{b^{I\theta}_{(X_k,Y_k,Z_k)}}}_{j_i^{f_m}} M^{(1,2,...,14)}_{(P,Л,Д,Э)}, \quad (4)$$

где в левой части выражения (4) представлено реальные показатели изготовленных деталей по качеству функционально значимых поверхностей, а в правой части записана конъюнкция требований показателей качества поверхностей, заданных в конструкторской документации и структурных схем функционально-ориентированных технологических воздействий, обеспечивающих достижение необходимых показателей шероховатости обработанных поверхностей детали.

Таблица 4

Достигаемые параметры поверхности различными методами обработки

<table>
<tr><td rowspan="3">Параметры шерохти Ra, мкм</td><td colspan="3">Методы обработки</td><td rowspan="3">Формула схемы обработки</td><td rowspan="3">Особенности поверхностей</td></tr>
<tr><td>Резание</td><td>Деформирование</td><td>ЭХО и др.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Виды обработки</td></tr>
<tr><td>0,008 ÷ 0,04</td><td colspan="2">Притирка или доводка, алмазное выхаживание хонингование</td><td>Ионно-плазменная полировка, ЭХ-полировка</td><td rowspan="6">Обобщенная формула для всех способов и видов функционального технологического воздействия на поверхность обработки
$C^{П_k^{b^{I\theta}_{XYZ}}}_{j_i^{f_m}} \cup M^{(1,2,...,14)}_{(P,Д,Э)}$</td><td>Плоские, цилиндрические наружные и внутренние</td></tr>
<tr><td>0,04 ÷ 0,16</td><td colspan="2">Притирка или доводка</td><td></td><td rowspan="2">Цилиндрические внутренние</td></tr>
<tr><td></td><td>Тонкое сверление</td><td>Обкатывание, дорнование, калибрование (роликом, шариком)</td><td>Тонкая (Анодно-механическая)</td></tr>
<tr><td>0,16 ÷ 0,63</td><td>Шлифование, шабрение</td><td>Высадка, холодная штамповка</td><td rowspan="2">Литье под давлением, магнитно-динамическая и вибро-динамическая обработка</td><td rowspan="2">Плоские, профильные, цилиндрические наружные и внутренние</td></tr>
<tr><td>0,63 ÷ 2,5</td><td>Строгание, фрезерование, точение, протягивание, зубообработка, растачивание, сверление</td><td>Горячая штамповка, резьбонакатывание</td></tr>
<tr><td>2,5 ÷ 10</td><td>Точение, фрезерование, развертывание, резьбонарезание</td><td>Ковка</td><td>Литье по выплавляемым моделям</td><td>Цилиндрические наружные и внутренние</td></tr>
<tr><td>10 ÷ 100</td><td>Газовая резка, абразивно-черновое, опиливание, сверление черновое</td><td>Свободная ковка</td><td>Литье в песчаные формы, литье в кокиль</td><td>Плоские, профильные, цилиндрические наружные</td></tr>
</table>

Расшифровка выражения (4) указывает на все виды технологических воздействий, учитывая точечный, линейчатый или поверхностно-объемный способ взаимодействия инструментов с материалом заготовок, а также способы достижения качества поверхностей по параметрам шероховатости ГОСТ 2789-73. При этом суммарное качество всей поверхности обработанной детали складывается из фрагментарных показателей для каждой элементарной поверхности детали, независимо того в какой зоне и части детали эта поверхность локализована и в какой системе координат она определена в своей частной или в общей системе координат детали.

Заключение. В данной работе приведены результаты исследований относительно образования поверхностных свойств деталей в машиностроительном цикле, достигаемых методами функционально-ориентированных технологических воздействий инструментов на заготовки в процессах обработки точечным, линейчатым или поверхностно-объемным воздействием на материал.

Решены следующие частные задачи:

1. Установлены возможные способы формирования особых требований к конкретным поверхностям деталей путем функционально-ориентированных технологических воздействий с точечным, линейчатым и поверхностным контактом инструментов и заготовок, образующих требуемую шероховатость в определенных зонах и участках, определяемых в заданных пределах и топологии детали согласно конструкторской документации.

2. Отмечены отличительные особенности функционально-ориентированных воздействий при реализации различных технологических преобразующих контактов инструментов с заготовками, ставящих цель повышения чистоты обработанных поверхностей деталей в зависимости от направления и уровня глубины технологии.

3. Разработаны структурные схемы точечного, линейчатого, и поверхностно-объемного технологического воздействия на участки и зоны элементов детали, которые описывают функциональные факторы технологических комплексов и процессов, отражающих виды обработки и способы формирования требуемой шероховатости поверхностей.

4. Разработано формализованное представление схем функционально-ориентированных технологических воздействий на обрабатываемые поверхности, обеспечивающих качество деталей по чистоте обработки, гарантированное достижением требуемых КД показателей по шероховатости.

Практическое использование результатов исследований, приведенных в настоящей работе, позволяет путем итеративного рекуррентного выбора вариантов функционально-ориентированных технологических воздействий на обрабатываемые поверхности выбрать оптимальный способ обработки деталей с целью улучшения качества и шероховатости обрабатываемых поверхностей в машиностроительном производстве. При этом обработка деталей осуществляется как с применением механической обработки, так и обработки без снятия стружки, что расширяет технологические возможности применения технологий функционально-ориентированных направленностей.

Литература:

1. Заблонский К.И. Детали машин - К.; Вища школа, 1985. – 518с.

2. Гордин П.В., Росляков Е.М., Эвелеков В.И. Детали машин и основы конструирования. Пособие по курсовому проектированию. «-е изд. – Спб.; СЗТУ, 2005–113с.

3. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. Донецк, ДонНТУ, 2009. -346с.

4. Михайлов А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б.,

Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2020. Вып. 3 (70). С. 22-33. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

5. Ивлев Ю.В. Логика: Учебник. - М.: Изд-во Моск. Технология машиностроения, в 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения.

6. Бурцев В.М., Васильев А.С., Дальский А.М. и др. под ред. Дальского А.М.// Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

7. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.

8. ГОСТ 2.309-73 ЕСКД Обозначение шероховатости поверхностей.

9. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения.

10. Довгалев А. М. - Совмещенная отделочно-упрочняющая обработка деталей машин вибродинамическим накатыванием и вращающимся магнитным полем// Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» Журнал/ Вестник Белорусско-Российского университета №4 (53), 2016.

11. Сковородин В.Я., Пуршель Е.Е. Оценка эффективности антифрикционной обработки восстановленных гильз цилиндров ДВС в условиях холодной обкатки.// Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.2016-№1/9, 2017.С.245-252.

12. Нефедьев С. П. Абразивная и ударно-абразивная износостойкость твердых наплавленных покрытий / С. П. Нефедьев, Р. Р. Дема, Д. А. Котенко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 103-106.

The order of development of functionally oriented technological influences for the formation of the surface properties of the part

Mihailov A.N. [1a], Kotlyarov V.B. [1b], Kotlyarov S.B. [1c], Kotlyarov B.S. [2d]

[1] Donetsk National Technical University, Artema str., Donetsk, Donetsk People's Republic
[2] Gaspra town, Vostochny lane, Yalta, Republic of Crimea, Russian Federation
[a] mntk21@mail.ru, [b] velidarkotlarov@mail.ru, [c] svetozar90@mail.ru, [d] boris.kotlyarov@mail.ru

Keywords: detail, part, site, zone, function, processed surface, functional features, technology, function-oriented technological impact.

This paper describes the results of research on ways to form the surface properties of processed parts in accordance with the requirements of the CD - design documentation of parts based on the use of functionally-oriented technological influences. Mutual correspondence of properties of surfaces of zones, sections and parts of details and structural schemes of technological influences forming these properties is established. Different surface areas of parts, sections of parts, and individual zones of parts of parts may have specific differences, which require different processing methods. In order to ensure an adequate treatment option for each part of the surface, the processing method is selected from a variety of possible schemes of technological impacts based on a recurrent iterative search and approximation to the optimal treatment technology option.

УДК 67.05

Изготовление фрезерного станка с ЧПУ

Иванов И.Н.[1,a], Иванов В.Н. [1,b], Попов В.Ю.[1,c]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[b]vasiliy.ivanov.2019@mail.ru, [c]slapopov@gmail.com

Ключевые слова: фрезерный станок, ЧПУ, фрезер, проектирование, шпиндель, САПР, система привода подач, электроника.

В данной статье рассматривается актуальный вопрос самостоятельного создания фрезерного станка с ЧПУ в обычных, не производственных условиях. В первую очередь, необходимость аналогичных разработок вызвана тем, что производители станкостроительного оборудования из западных стран имеют программную возможность удалённо ограничивать доступ к работе уже купленных станков, находящихся на территории Российской Федерации. В связи с этим возникает потребность в самостоятельном проектировании и изготовлении подобного оборудования, пусть и небольшого, компактного размера. Во-вторых, покупка подобного станка с ЧПУ, например, для реализации бизнеса в сфере деревообработки – довольно дорогостоящий вариант. Для быстрой окупаемости вложений необходим станок с большим рабочим полем, но зачастую такие станки требуют больших первоначальных затрат. Поэтому мы осуществили разработку собственного проекта по созданию фрезерного станка с ЧПУ. Стоит упомянуть, что большая часть деталей была приобретена с интернет-магазина AliExpress, часть деталей была произведена собственноручно. В конце приведён пример готового изделия, изготовленного при помощи нашего станка.

Введение. На сегодняшний день область применения станков с ЧПУ чрезвычайно широка, от машиностроения [1, 2], авиастроения, строительства, до производства мебели и сувениров. С помощью станков с ЧПУ можно изготавливать детали любой конфигурации и сложности. На таких станках можно производить обработку поверхностей с точностью до десятых долей миллиметра. Станки способны обрабатывать огромный спектр материалов, таких как: дерево, пластик, акрил, фанера, металл, камень, композиционные материалы и др. Под каждый вариант изделия может быть разработано своё решение, в зависимости от материала и типа обрабатываемой заготовки, конкретных условий и задач резания, характеристик применяемого шлифовального [3, 4] и режущего инструмента [5, 6].

Создание фрезерного станка с ЧПУ для обработки древесных, полимерных [7], композиционных [8] материалов и металла [9] – это сложный и многоэтапный проект, который требует от разработчиков глубоких знаний в области механики [10], электроники [11] и программирования [12].

Методология разработки станка. Мы следовали следующим классическим этапам разработки [13, 14].

1. Проектирование. Проектирование началось с разработки модели станка в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D». На этом этапе были определены все технические параметры будущего станка, его размеры, характеристики и т.д. Определённые конструктивные особенности станка, о которых будет сказано ниже, также определяются на этом этапе.

2. Изготовление металлических конструкций. Для изготовления основных конструкций станка используются металлические профили и листовые металлы. Для создания более сложных элементов можно использовать фрезерование или резку.

3. Сборка. На этом этапе все элементы станка собираются в единую конструкцию. Для этого используется сварка, механическая сборка и т.д.

4. Установка электроники и электропроводки. Здесь устанавливаются все электронные компоненты, такие как драйверы двигателей, контроллеры ЧПУ, датчики и т.д. [15–17].

5. Программирование. После установки электроники необходимо написать программное обеспечение для управления станком, либо воспользоваться уже существующими. Для этого можно использовать специальные программы, такие как Mach3, LinuxCNC, Grbl и другие.

6. Настройка. После завершения программирования необходимо настроить станок на оптимальную работу. Это включает в себя настройку двигателей, проверку правильности работы датчиков, определение оптимальных параметров скорости и т.д.

Изготовление станка. Определённые конструктивные особенности станка зависят от типа материала, который будет обрабатываться. Например, для обработки полимерных материалов и древесины станок может иметь меньшую мощность двигателей и меньшую жесткость конструкции. И наоборот, для обработки металла станок должен быть более мощным и иметь более жесткую конструкцию. В обязательном порядке компоновка станка должна предусматривать удобный доступ к рабочей зоне для замены режущего инструмента или возможности снимать определённые показатели в режиме работы станка [18].

Сборка базовой рамы станка. Постройка началась со сборки базовой рамы станка (рис. 1), размером 2500×1750 мм, которая послужит его основой. Было принято решение приобрести высококачественный конструкционный профиль, отечественного производства, компании «СОБЕРИЗАВОД». При сборке рамы использовались закладные гайки и конструкционные уголки. Стоит отметить, что для станка нужна несущая конструкция – станина. Она обеспечивает жесткое и устойчивое положение станка. Станину изготовили из профильных труб размером 60×60 мм и толщиной стенки 4 мм. На ножках есть регулировки для выравнивания положения. На станину непосредственно крепится рама из конструкционного профиля.

Определение типа передачи движения. Было выделено 3 основных типа передачи: шарико-винтовая (ШВП), шестерня-рейка и зубчатая. Изначально выбор пал на шестерню-рейку, потому что она обеспечивает большую скорость перемещений, а рейка с крупным модулем еще и большую величину передаваемых усилий. Рейка легко монтируется, ей не нужны какие-то дополнительные или промежуточные опоры, она прикручивается напрямую к раме портала или станины. В случае необходимости монтажные отверстия можно выполнять «по месту». Если сравнивать ее с зубчатым ремнем, то рейка точнее, так как не растягивается и не играет под нагрузкой. Но из-за отсутствия данного типа передачи в наличии, был приобретен комплект, заказанный с интернет-магазина «AliExpress», состоящий из ШВП, рельс и кареток, которые по своим показателям не уступают шестерне-рейке. Ввиду того, что ШВП представляет своего рода шарикоподшипник, она имеет небольшие потери трения, а значит и высокий КПД передачи. ШВП отличается точностью перемещения (это самый точный вид передачи из всего списка), компактными размерами, высоким сроком службы, бесшумностью и плавностью хода.

Конструирование стоек для портала. Изначально был изготовлен прототип из дерева, с помощью которого мы определились с размерами и общим видом. Стойки нужно было сделать из алюминия Д16Т, толщиной 20 мм. В ходе конструирования было решено сделать стойки на заказ, но это оказалось дорогостоящим вариантом. После этого мы определились, что покупка небольшого станка с ЧПУ по металлу будет выгоднее, так как с его помощью мы изготовим все необходимые детали для всего проекта. Приобретенный станок имеет рабочее поле 600×300 мм чего достаточно для изготовления нужных компонентов. С его помощью были произведены портальные стойки, крепления двигателей, ось Z и многое другое. Покупка станка с целью самостоятельного изготовления деталей была несомненно

правильным решением как с финансовой точки зрения, так и с точки зрения полученных навыков работы со станком с ЧПУ.

Рис. 1. Общий вид станка с ЧПУ
1- Электрический шкаф; 2- Портал; 3- Шпиндельная головка G-PENNY MACHINE ER20 220V, 4.0kw; 4- Система отвода стружки; 5- Столешница; 6- Шариковый винт с шаровой гайкой SFU2005 – 2500 мм; 7- Шаговый двигатель Nema34 12 нм; 8- Линейная рейка HGR20 – 2500 мм. 9- Рама; 10- Станина

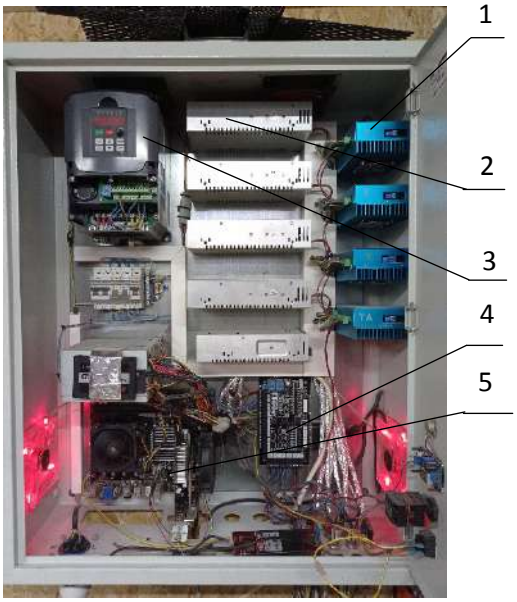


Рис. 2. Общий вид электрического шкафа
1- Драйвера HBS860H; 2- Блоки питания драйверов 400W 60V; 3- Частотник Huanyang 220v 4.0kw; 4- Материнская плата станка с ЧПУ; 5- Компьютер для управления станком

Балка портала состоит из трех конструкционных профилей. Она вставляется в стойки портала и через алюминиевую пластину соединяется болтами. На балке установлены концевики, кабель-канал, две линейные рейки с каретками, шаговый двигатель, винт для оси

X, сама ось Z, шпиндельная головка G-PENNY MACHINE ER20 220V, 4.0kw, система отвода стружки.

Сборка электрического шкафа. Электрический шкаф (рис. 2) подразумевает коробку, в которой находятся электронные компоненты, обеспечивающие управление и питание станка с ЧПУ. Его сборка подразумевает собой приобретение шкафа необходимого размера, установка и подключение элементов управления станка с ЧПУ. Система вентиляции состоит из 4 вентиляторов 120 мм.

Начинкой электрического шкафа являются:

1. Драйвера HBS860H – для одного шагового двигателя необходим один драйвер.
2. Блоки питания драйверов 400W 60V – для каждого драйвера свой блок.
3. Частотник Huanyang 220v 4.0kw – необходим для работы шпинделя, позволяет регулировать скорость вращения фрезы.
4. Материнская плата станка с ЧПУ.
5. Компьютер для управления станком – подключается к материнской плате станка через LPT-порт. Характеристики ПК: процессор AMD PHENOM X4 925, материнская плата ASROCK N68C-UCC, блок питания 350W, оперативная память 4 гигабайта, видеокарта Nvidia GTX 650 2GB, внешний SSD накопитель 250GB, LPT-порт.

В нашем случае наличие свободного места позволило установить компьютер в шкаф, а не в отдельный корпус как это обычно бывает. Благодаря этому не пришлось далеко проводить провода между компьютером и элементами управления станка, также это позволило сэкономить место, которое мог бы занять компьютер в отдельном корпусе. На электрическом ящике выведена кнопка включения компьютера, и в целях безопасности присутствует кнопка E-stop для экстренного отключения всей системы при чрезвычайной ситуации.

Пример практической реализации. Производство какого-либо изделия на станке с ЧПУ начинается с компьютерного моделирования при помощи системы проектирования (рис. 3). Такие системы позволяют охватить широкий спектр конструкторско-технологических задач, от моделирования простых деталей, до моделирования сложных процессов, проходящих на атомном уровне [19]. Рассмотрим этот процесс на примере создания барных стульев в стиле Harley Davidson. Поскольку рабочее поле нашего станка позволяет разметить сразу несколько заготовок и обработать их за один установ, мы одновременно устанавливаем три заготовки с разными рисунками. Подобрав заготовки, а именно круглый сруб дерева карагач, переходим к процессу проектирования в программе ArtCam.

Рис. 3. Пример этапов создания изделий на фрезерном станке с ЧПУ

ArtCAM представляет собой мощную программную среду для обработки изображений, построения рабочих моделей и экспорта управляющих программ непосредственно на станки с ЧПУ. ArtCAM содержит множество инструментов, необходимых как дизайнеру, так и

оператору станка. По созданному 3D-рельефу может быть создана программа для станка с ЧПУ. Несмотря на то, что программа ArtCam закрыта и больше не продается, ее популярность растет. Все потому, что большинство производителей станков с ЧПУ для обработки мягких металлов и древесины рекомендуют ArtCam к использованию, для создания управляющих программ. Это характерно как для отечественных производителей, так и для производителей из Китая [20].

Составление управляющей программы. Процесс производства изделий на современном автоматическом оборудовании условно делится на два этапа: создание управляющей программы и непосредственное изготовление.

После составления управляющей программы заготовки закрепляются на столе, устанавливается нужная фреза и запускается процесс обработки. После механической обработки будет проводиться работа по заливке рельефа эпоксидной смолой, поэтому эти два процесса чередуются.

После первого перехода фрезерной операции объекты заливаются смолой нужного цвета, дожидается ее затвердевание и начинается второй переход фрезерной операции. Это обусловлено тем, что некоторые надписи пересекаются друг с другом и для лучшего результата требуются поочередная обработка и заливка.

Далее, используя дополнительное оборудование, такое как лазер, делаются рисунки на заготовках. В завершение изделие покрывается лаком и полируется.

Выводы. В результате полученного практического опыта при конструировании фрезерного станка с ЧПУ мы рекомендуем в случае необходимости отдельно приобрести небольшой станок для самостоятельного производства конкретных элементов и деталей. Этот шаг позволит сэкономить финансовые ресурсы, поскольку изготовление таких деталей под заказ все равно обойдется дороже.

На этапе проектирования и создания изделий для производства на данном станке не обязательно самим их проектировать, ведь в открытом доступе в интернете можно найти уже готовые файлы с различными изделиями. Их можно не только бесплатно скачать, но и при необходимости переделать под свои нужды или предпочтения. В итоге вам останется только закрепить обрабатываемый материал, установить режущие фрезы и запустить программу.

Литература:

1. Попов В.Ю. Повышение качества изделий из инструментальных сталей при электроалмазном шлифовании // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Научно-исследовательский институт систем управления, волновых процессов и технологий Министерства образования РФ. Братск, 2002.

2. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Сурьев А.А. Качество инструмента из инструментальных сталей после обработки методом двойного травления // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2003. Т. 2. С. 206–212.

3. Бородин Р.К., Попов В.Ю., Чиркова А.Н., Барсукова Е.А., Фокина А.А. Сравнительный анализ структуры высокопористых абразивных шлифовальных кругов // Механики XXI веку. 2021. № 20. С. 85–89.

4. Попов В.Ю., Большаков И.М., Гуглин Г.С., Распутин Е.В. Исследование процесса засаливания алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при обработке быстрорежущей стали Р6М5 // Механики XXI веку. 2010. № 9. С. 101–104.

5. Popov V.Y., Yanyushkin A.S. Adhesion-diffusion interaction of contact surfaces with the treatment diamond grinding wheels // Eastern European Scientific Journal. 2014. № 2. С. 301–310.

6. Медведева О.И., Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Расчет энергии адгезии контактных поверхностей при шлифовании инструментальных материалов различными методами // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2014. № 5 (35). С. 14–19.

7. Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V. Rationalization of polymer composite materials processing by improving production efficiency // В сборнике: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). Сер. "Procedia Engineering" 2016. С. 942–947.

8. Yanyushkin A.S., Rychkov D.A. The process of composite materials machining cutting tools profiling // В сборнике: International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017. Сер. "Procedia Engineering" 2017. С. 944–949.

9. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Лосев Е.Д. Качество поверхности после алмазной обработки безвольфрамовых твердых сплавов // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 1 (55). С. 20–24.

10. Корепанов И.И., Слащев Е.С., Шиляев С.А. Разработка и исследование высокоскоростного привода главного движения фрезерного станка с частотным регулированием числа оборотов // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 6-2 (64). С. 125–128.

11. Wei Gao, Soichi Ibaraki, M. Alkan Donmez, Daisuke Kono, J.R.R. Mayer, Yuanliu Chen, Károly Szipka, Andreas Archenti, Jean-Marc Linares, Norikazu Suzuki. Machine tool calibration: Measurement, modeling, and compensation of machine tool errors // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2023. 104017.

12. Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Колчин П.В. Разработка "цифрового двойника" токарного станка с ЧПУ // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 45-8. С. 44–50.

13. Гаврилов М.С., Кауфман Р.Л. Работа над проектом "Разработка самодельного станка с ЧПУ" // Школа и производство. 2014. № 2. С. 36–38.

14. Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю., Какорин Д.Д., Туляев И.П. Компоновка фрезерных станков с ЧПУ // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 12-2 (75). С. 126–129.

15. Хури А.А. Пакетная параметризация CAN сервоприводов с применением контроллера движения на базе одноплатного компьютера // Вестник МГТУ "Станкин". 2021. № 2 (57). С. 20–24.

16. Ni Chen, Hao Nan Li, Jinming Wu, Zhenjun Li, Liang Li, Gongyu Liu, Ning He. Advances in micro milling: From tool fabrication to process outcomes // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2021. Volume 160. 103670.

17. Tom J. Gibbons, Erdem Ozturk, Liangji Xu, Neil D. Sims. Chatter avoidance via structural modification of tool-holder geometry // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2020. Volume 150. 103514.

18. Янюшкин А.С., Лосев А.Б., Якимов С.А., Попов В.Ю. Роль температуры при затачивании инструментов алмазными кругами на металлической связке // Металлургия и машиностроение: ежеквартальный специализированный информационный бюллетень. 2006. № 1. С. 49–53.

19. Попов В.Ю., Шкуратова А.П., Хлыстов А.Н., Бондин А.В., Мирошниченко Н.А. 3D моделирование процесса комбинированной электроалмазной обработки // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 201–207.

20. Попов В.Ю., Рыбников А.С., Звядинцева С.Ю., Тимофеев Е.Н. Актуальность мировых машиностроительных трендов в 2021 году // Механики XXI веку. 2021. № 20. С. 103–110.

Manufacturing of CNC milling machine

Ivanov I.N. [1,a], Ivanov V.N. [1,b], Popov V.Y. [1,c]

[1]Bratsk State University, Makarenko, 40, Bratsk, Russia
[b]vasiliy.ivanov.2019@mail.ru, [c]slapopov@gmail.com

Keywords: milling machine, CNC, milling cutter, design, spindle, CAD, feed drive system, electronics.

This article discusses the topical issue of self-creation of a CNC milling machine in normal, non-production conditions. First of all, the need for similar developments is due to the fact that manufacturers of machine tool equipment from Western countries have the software ability to remotely restrict access to the work of already purchased machines located on the territory of the Russian Federation. In this regard, there is a need for independent design and manufacture of such equipment, albeit a small, compact size. Secondly, the purchase of such a CNC machine, for

example, for the implementation of a woodworking business, is a rather expensive option. For a quick return on investment, you need a machine with a large working field, but often such machines require a large initial investment. Therefore, we carried out the development of our own project to create a CNC milling machine. It is worth mentioning that most of the parts were purchased from the AliExpress online store, some of the parts were made by hand. At the end, an example of a finished product made using our machine is given.

УДК 51-72; 51-74

Реализация метода молекулярной динамики в Blender

Хлыстов А.Н.[1,а], Попов В.Ю.[1,б]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[а]alexey.khlystov@gmail.com, [б]slapopov@gmail.com

Ключевые слова: атомистическое моделирование, МД-моделирование, классическая молекулярная динамика, трехмерное моделирование, растяжимость ковалентных связей, метод Бринелля, твёрдость металлов, Blender.

Данная статья рассматривает соответствие среды трехмерного моделирования Blender методу классической молекулярной динамики и предлагает метод создания МД-моделей металлов в Blender с использованием специализированных программных дополнений. Изучаются свойства полученных моделей, в том числе методом Бринелля. Трехмерное компьютерное моделирование - эффективный инструмент для изучения взаимодействия атомов в металлах и кристаллах. Оно позволяет исследовать свойства материалов на микроуровне, прогнозировать их поведение в различных условиях, оптимизировать процессы производства и создавать новые материалы с необходимыми свойствами. Изучение свойств металлов и кристаллов особенно важно в свете постоянного развития материаловедения и технологий производства. Эти материалы широко применяются в различных отраслях, таких как электроника, машиностроение, медицина, энергетика и другие, поэтому изучение их свойств имеет большое значение для промышленности и науки. Исследования, проводимые с помощью трехмерного компьютерного моделирования, могут привести к созданию новых материалов с улучшенными свойствами и оптимизации процессов производства. Они также могут помочь в понимании фундаментальных процессов, происходящих на микроуровне, и в развитии новых направлений в технологиях машиностроения.

Введение. Трехмерное компьютерное моделирование является эффективным инструментом для изучения процесса взаимодействия атомов в металлах и кристаллах. Оно позволяет исследовать свойства материалов на микроуровне, прогнозировать их поведение в различных условиях, оптимизировать процессы производства и создавать новые материалы с необходимыми свойствами. Эта тема особенно актуальна в связи с постоянным развитием материаловедения и технологий производства. Металлы и кристаллы широко применяются в различных областях, таких как электроника, машиностроение, медицина, энергетика и другие, поэтому изучение их свойств имеет большое значение для промышленности и науки. Исследования, проводимые с помощью трехмерного компьютерного моделирования, могут привести к созданию новых материалов с улучшенными свойствами и оптимизации процессов производства. Более того, они могут помочь в понимании фундаментальных

процессов, происходящих на микроуровне, и в развитии новых направлений в технологиях машиностроения.

Выбор программного обеспечения. Программное обеспечение Blender было выбрано для моделирования атомистических процессов не только потому, что оно отвечает ряду специфических для этого требований [1], но и потому что является свободным и открытым. Код программы такого типа можно изучить и, если необходимо, доработать (далее – «дополнение»), чтобы она лучше удовлетворяла выдвинутым требованиям.

В соответствии с методом классической молекулярной динамики для описания движения атомов или частиц применяется классическая механика [2]. В Blender за симуляцию физических процессов классической механики отвечает также свободный физический движок реального времени Bullet Physics Library (далее – «Bullet»). Помимо прочего, Bullet имеет функции просчета столкновений трехмерных сеток, что является важным для физической симуляции, а также имеет бессеточный вычислительный метод гидродинамики сглаженных частиц для моделирования динамики жидкости и газов, основанный на системах частиц.

Симуляция физических процессов. Для компьютерного молекулярно-динамического моделирования предлагается [3, 4] комплексный подход, при котором на первом этапе создаются модели кристаллических решеток в программе Web Bravais Lattices Creator [5], а на втором этапе создается статическая модель взаимодействующих поверхностей средствами Blender с дополнением Bravais Lattices Creator [6].

В результате подготовительных этапов в среде Blender будет создана модель одного или нескольких кристаллитов, имеющих статические свойства моделируемого материала, где кристаллит представляет собой сущность трёхмерной среды – систему частиц, а каждый атом – одну частицу этой системы. К статическим свойствам этой модели относятся: ковалентный радиус атома в нанометрах, размер элементарной ячейки в нанометрах и тип кристаллографической группы.

Для применения к полученной модели динамических свойств, предлагается использовать дополнение Molecular [7]. По умолчанию, системы частиц Blender предназначены только для симуляции жидкости и газов, данное дополнение объединяет функции просчета столкновений и гидродинамики сглаженных частиц движка Bullet, что позволяет наделить системы частиц свойствами твердых материалов. К расчетам добавляются следующие свойства: плотность, модуль упругости, атомная единица массы, количество ковалентных связей атома и предел растяжимости ковалентных связей атома.

Предел растяжимости ковалентных связей зависит от свойств атомов, составляющих связь [8]. Когда на ковалентную связь действует механическое напряжение, связь начинает растягиваться и расстояние между атомами увеличивается. При этом энергия связи увеличивается, что приводит к возрастанию потенциальной энергии системы. Когда связь растягивается до определенного предела, она разрывается. В этом случае энергия связи достигнет максимального значения, после чего ее увеличение будет неэффективным. Предел растяжимости измеряется в отношении исходной длины ковалентной связи к предельной длине, при которой происходит разрыв связи. До сих пор не существует методов, позволяющих наиболее точно измерить предел растяжимости экспериментально, однако в виртуальной среде его можно рассчитать, основываясь на тепловом движении частиц.

Из термодинамики известно, что у жидких веществ есть температура кристаллизации (она же температура плавления твердого вещества), при которой образуются (или разрываются соответственно) связи между атомами. Зная температуру перехода вещества из твердого в жидкое состояние (температуру плавления), атомную единицу массы и рассчитав тепловую скорость [9] частиц этого вещества при плавлении, можно узнать скорость частиц, при которой наиболее вероятен разрыв ковалентной связи.

Тепловая скорость в трех измерениях определялась по формуле:

$$\vartheta T = \sqrt{\frac{2kT}{m}}, \text{ м/с} \quad (1)$$

Используя данный метод в Blender, обнаружилось, что при температуре плавления железа 1538 °С, тепловая скорость частиц железа 0.027 нм/с, а предел растяжимости ковалентной связи железа 0,71 % от исходной длины ковалентной связи 0,234 нм.

Адекватность МД-модели. Чтобы узнать, совпадают ли свойства создаваемых по описанному методу моделей со свойствами моделируемых веществ, была измерена их твердость по методу Бринелля [10] (рис. 1). Для этого были созданы модели кристаллитов металлов молибдена и ванадия, а также модель шарика-индентора из карбида вольфрама. В соответствии с ГОСТ 9012-59, на твердосплавный шарик (см. рис 2) диаметром 20 нм в течение 15 нс действовала сила 117700 нН, при этом время от приложения усилия до достижения им заданной величины составило 8 нс. По результатам виртуального эксперимента диаметр отпечатка шарика на металлах составил ± 0,5 %: молибден – 3,3 нм (рис. 3, а), ванадий – 5 нм (рис. 3, б).

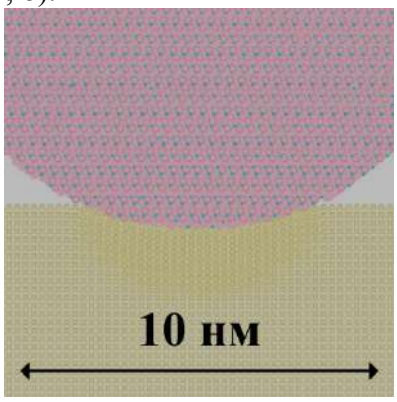


Рис. 1. Вдавливание твердосплавного шарика в металл для измерения твёрдости по методу Бринелля

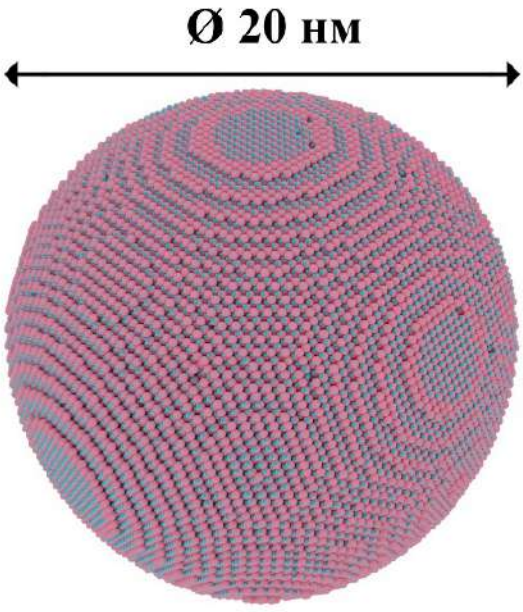
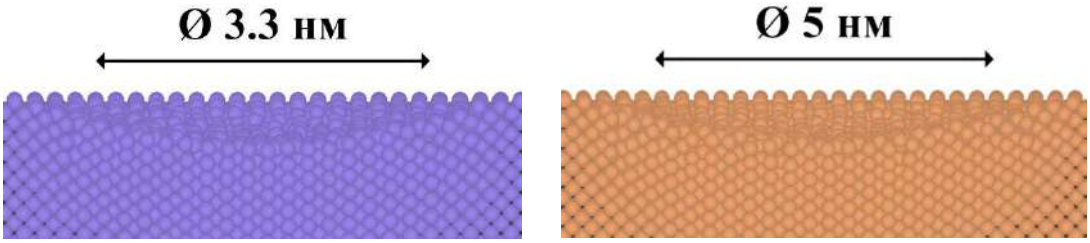


Рис. 2. Твердосплавный шарик из карбида вольфрама

Твёрдость по методу восстановленного отпечатка определялась по формуле:

$$HBW = \frac{0.102F}{\frac{\pi D}{2}(D-\sqrt{D^2-d^2})}, \text{ МПа} \quad (2)$$

Рассчитанная твердость составила: молибден – 1394 HBW, ванадий – 602 HBW. Твёрдость моделей металлов, измеренная виртуально, близка к твёрдости этих металлов, указанной во многочисленных справочных данных.



(а) *(б)*

Рис. 3. Отпечатки индентора в металлах
(а) в атомистической модели молибдена; (б) в атомистической модели ванадия.

Заключение. В статье было описано использование метода классической молекулярной динамики для моделирования движения атомов в программе Blender. Работа позволяет лучше понять физические свойства металлов, такие как упругость и твердость. Об адекватности моделей, созданных по предложенному авторами методу, можно судить по совпадению их свойств со свойствами моделируемых веществ. Аналогичные исследования проводились рядом других авторов [11-15] и их, и наши результаты показали хорошее соответствие реальной физике. МД-модели, созданные по предложенному методу, могут быть использованы в различных областях науки и техники, например, при изучении материалов для строительства, производства автомобилей, космических аппаратов и многих других областей. Данная работа предоставляет новый инструмент для исследования свойств металлов и открывает новые возможности для создания более эффективных и безопасных материалов, исследования на эту тему мы уже проводили [16-20].

Среди недостатков данного метода стоит отметить, что виртуальная среда имеет предел детализации, и не позволяет учитывать процессы, происходящие менее чем в нанометровом масштабе. В результате этого приходится пренебрегать таким типом молекулярного движения, как колебания, и следственно низкими и средними температурами. Метод классической молекулярной динамики не применим для моделирования систем, состоящих из легких атомов, поэтому полученные модели металлов не имеют оксидных пленок и по сути являются ювенильными. И последним немаловажным недостатком МД-моделирования являются высокие требования к аппаратному обеспечению, на котором будут производится расчеты. Так, в эксперименте по методу Бринелля было задействовано около миллиона атомов (половина из которых приходились на твердосплавный шарик), а для моделирования 30 нс всего процесса вдавливания потребовался двадцатиядерный процессор и 170 гигабайт оперативной памяти (использовался файл подкачки). Даже на модели с миллионом атомов было затруднительно измерить диаметр отпечатка по методу Бринелля. Для получения большей адекватности моделей необходимо учитывать температуру покоя среды и металлов, необходимо моделировать легкие вещества окружающей среды, а также желательно задействовать суперкомпьютеры, чтобы увеличить размер модели с нескольких десятков нанометров до сотен или даже тысяч.

Литература:

1. Попов В.Ю., Хлыстов А.Н., Бондин А.В. Атомная визуализация алмазного резания // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т.8. №1. С. 161–172.

2. Рапапорт Д. К. Искусство молекулярной динамики. Ижевск: ИКИ. 2012. 632 с.

3. Хлыстов А.Н., Попов В.Ю. Комплекс программных средств для МД-моделирования // Механики XXI веку. 2022. № 21. С. 173–178.

4. Тимофеев Е.Н., Попов В.Ю., Звядинцева С.Ю. Атомное моделирование фазового состава быстрорежущей стали // Механики XXI веку. 2022. № 21. С. 178–185.

5. Хлыстов А.Н., Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Архипов П.В. Физическое моделирование решёток браве в веб-среде // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 51–56.

6. Хлыстов А.Н. Автоматизация молекулярно-динамического моделирования // Механики XXI веку. 2016. № 15. С. 255–258.

7. Molecular, дополнение для Blender. URL: https://blenderartists.org/t/moleculars-physics/521682.

8. Elena Sheka, Chapter Four - Stretching and Breaking of Chemical Bonds, Correlation of Electrons, and Radical Properties of Covalent Species // Advances in Quantum Chemistry 2015. V. 70. P. 111–161.

9. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. С. 193–196.

10. ГОСТ 9012-59. Метод измерения твердости по Бринеллю. Разработан и внесен Министерством черной металлургии СССР от июня 2007: дата введения 1960-01-01.

11. Hossam Halfa. Thermodynamic Calculation for Silicon Modified AISI M2 High Speed Tool Steel // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2013. 1. 257–270.

12. Кабалдин Ю.Г., Серый С.В., Уткин А.А. Моделирование процессов трения и смазывания при резании на основе квантово-механических расчетов // Вестник машиностроения. 2012. № 2. С. 46–52.

13. Заводинский В.Г., Каминский О.И. Квантово-механическое исследование трения в наноконтактах // Механика композиционных материалов и конструкций. 2017. Т. 23. № 3. С. 310–321.

14. Zavodinsky V.G., Gorkusha O.A. Development of an orbital-free approach for simulation of multi-atomic nanosystems with covalent bonds // Наносистемы: физика, химия, математика. 2016. Т. 7. № 3. С. 427–432.

15. Матюшкин И.В. Моделирование и визуализация средствами MATLAB физики наноструктур. М.: Техносфера, 2011. 168 с.

16. Попов В.Ю. Повышение качества изделий из инструментальных сталей при электроалмазном шлифовании // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Научно-исследовательский институт систем управления, волновых процессов и технологий Министерства образования РФ. Братск, 2002.

17. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Сурьев А.А. Качество инструмента из инструментальных сталей после обработки методом двойного травления // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2003. Т. 2. С. 206–212.

18. Янюшкин А.С., Лосев А.Б., Якимов С.А., Попов В.Ю. Роль температуры при затачивании инструментов алмазными кругами на металлической связке // Металлургия и машиностроение: ежеквартальный специализированный информационный бюллетень. 2006. № 1. С. 49–53.

19. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Лосев Е.Д. Качество поверхности после алмазной обработки безвольфрамовых твердых сплавов // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 1 (55). С. 20–24.

20. Попов В.Ю., Шкуратова А.П., Хлыстов А.Н., Бондин А.В., Мирошниченко Н.А. 3D моделирование процесса комбинированной электроалмазной обработки // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 201–207.

Implementing the molecular dynamics method in Blender

Khlystov A.N.[1,а], Popov V.Y.[1,б]

[1]Bratsk State University, Makarenko, 40, Bratsk, Russia
[а]alexey.khlystov@gmail.com, [б]slapopov@gmail.com

Keywords: atomistic modeling, MD modeling, classical molecular dynamics, 3D modeling, extensibility of covalent bonds, Brinell method, hardness of metals, Blender.

This article considers the compliance of the Blender 3D modeling environment with the method of classical molecular dynamics and proposes a method for creating metal MD models in Blender using specialized software add-ons. The properties of the obtained models are studied, including the Brinell method. Three-dimensional computer modeling is an effective tool for studying the interaction of atoms in metals and crystals. It allows you to study the properties of materials at

the micro level, predict their behavior under various conditions, optimize production processes and create new materials with the necessary properties. The study of the properties of metals and crystals is especially important in light of the constant development of materials science and production technologies. These materials are widely used in various industries such as electronics, engineering, medicine, energy and others, so the study of their properties is of great importance for industry and science. 3D computer modeling research can lead to the creation of new materials with improved properties and the optimization of manufacturing processes. They can also help in understanding the fundamental processes occurring at the micro level, and in the development of new directions in mechanical engineering technologies.

УДК 62; 004.896

Технологии искусственного интеллекта в российских компаниях

Мохначев В.А.[1,а], Попова М.В.[2,б]

[1]Братский государственный университет, ул.Макаренко 40, Братск, Россия
[2]МБОУ СОШ №18, ул. Наймушина 18А, Братск, Россия
[а]vadim.mohnachev@gmail.com, [б]masyappv@mail.ru

Ключевые слова: искусственный интеллект, автоматизация процессов, управление, оптимизация процессов, качество продукции, снижение затрат.

В статье приведены способы применения искусственного интеллекта (ИИ) в российских технологических компаниях. Актуальность данной темы несомненна и вызвана растущим интересом к использованию ИИ в бизнесе и промышленности в целом. Не последнюю роль здесь сыграло и то, что Россия стремится к технологическому лидерству и конкурентоспособности на мировом технологическом рынке.

Определено, что ИИ стал неотъемлемой частью современных производственных процессов, позволяя увеличивать эффективность процессов с одновременной оптимизацией затрат. С помощью анализа больших объемов данных и автоматизации рутинных операций ИИ способствует ускорению производства и повышению качества продукции, что позволяет компаниям быть более конкурентоспособными на рынке.

В целом, использование ИИ в российских технологических компаниях потенциально может значительно повысить безопасность процессов, их эффективность, продуктивность и надёжность. Однако внедрение технологий ИИ также может сопряжено с проблемами, такими как потребностью у работников специализированных навыков.

Введение. Применение ИИ в крупнейших технологических российских компаниях - одна из наиболее актуальных и перспективных тем современности. Большинство компаний стремятся максимально использовать все возможности, которые может предоставить ИИ, чтобы повысить свою эффективность, оптимизировать бизнес-процессы и увеличить прибыль. Одновременно, применение ИИ может значительно повысить качество производимой продукции, уменьшить количество ошибок в работе, сократить время при выполнении задач и предоставить новые уникальные возможности [1, 2].

Сегодня все больше компаний используют ИИ для автоматизации своих производственных процессов и повышения эффективности своей деятельности. Применение ИИ охватывает широкий диапазон задач, от управления производственными процессами и мониторинга качества продукции до улучшения клиентского опыта, и оптимизации

логистики.

Технологические компании используют ИИ для улучшения процессов производства, в том числе для оптимизации расходов на энергию и ресурсы, сокращения времени производства, уменьшения потерь, увеличения скорости производства и т.д. [3–6]. Они также используют ИИ для разработки новых продуктов и услуг, которые могут привести к большей удовлетворенности клиентов и увеличению прибыли. Однако, необходимо учитывать, что внедрение ИИ требует значительных инвестиций и тщательной подготовки, а также может столкнуться с проблемой безопасности данных.

Корпорация «Иркут» – интегрированное предприятие, обеспечивающее полный цикл работ по проектированию, испытаниям, производству, маркетингу, реализации и послепродажному обслуживанию авиационной техники. ИИ все чаще используется отечественными авиакомпаниями для улучшения своих операций, повышения качества обслуживания клиентов и оптимизации прибыли. Вот несколько способов его использования в корпорации «Иркут» (рис. 1).

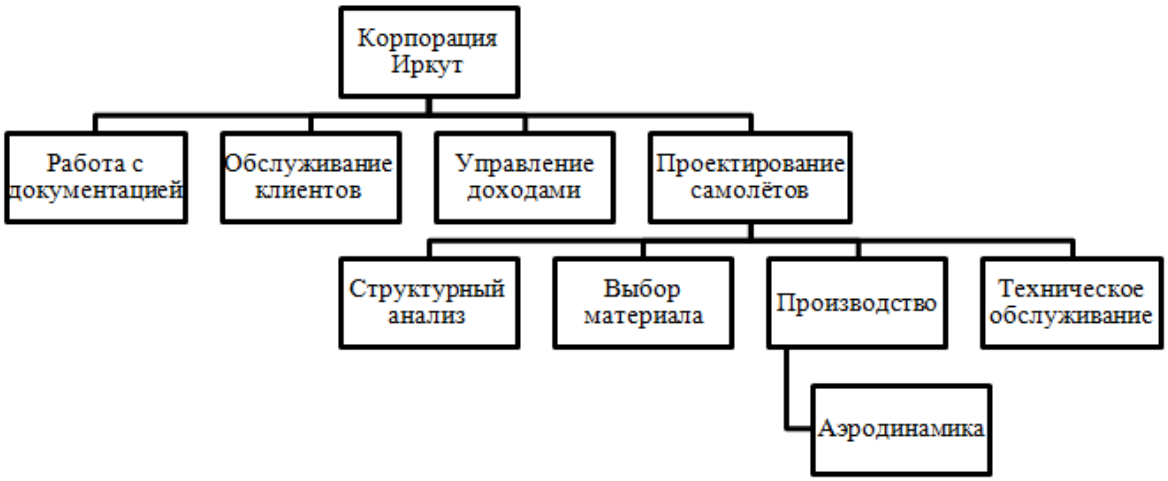


Рис. 1. Технологические способы использования ИИ в корпорации «Иркут»

Структурный анализ – для анализа структурной целостности самолета и прогнозирования того, как он будет работать в различных условиях. Это помогает проектировщикам выявить потенциальные конструктивные недостатки и оптимизировать конструкцию для обеспечения безопасности и долговечности.

Выбор материала – помощь в выборе наилучших материалов для различных компонентов самолета на основе их свойств и эксплуатационных характеристик. Это помогает конструкторам найти наиболее легкие и долговечные материалы для самолета, которые могут помочь снизить расход топлива и повысить эффективность.

Производство – для оптимизации процесса производства самолетов путем моделирования различных производственных сценариев и определения наиболее эффективных и экономичных методов. Это помогает снизить производственные затраты и улучшить качество самолета.

Аэродинамика – помощь в оптимизации аэродинамики самолета ещё на стадии производства, при моделировании различных конструктивных конфигураций, с обратной связью об их характеристиках в режиме реального времени. Это помогает авиаконструкторам найти наиболее эффективный дизайн для самолета.

Техническое обслуживание – прогнозирование потребностей самолета в техническом обслуживании на основе данных от датчиков и других источников. Это помогает авиакомпаниям более эффективно планировать техническое обслуживание и снижать риск непредвиденных простоев.

В целом, использование ИИ в проектировании воздушных судов помогает повысить безопасность, эффективность и их рентабельность. Моделируя различные конструктивные

конфигурации, материалы и производственные процессы, ИИ помогает конструкторам найти оптимальный дизайн для самолета, который может помочь снизить расход топлива, повысить эффективность и улучшить общее впечатление от полета.

Компания «Алроса» – крупнейшая алмазодобывающая компания, мировой лидер по объему добычи и запасов алмазов. Основными направлениями деятельности являются геологоразведка, добыча и продажа алмазов, производство бриллиантов. ИИ все чаще используется в горнодобывающей промышленности для повышения безопасности, эффективности и оптимизации своей деятельности. Основные технологические способы использования ИИ следующие (рис. 2).

Прогнозирующее обслуживание – постоянно анализируя данные с датчиков оборудования, алгоритмы ИИ предсказывают, когда и где потребуется техническое обслуживание, выявляя потенциальные проблемы до того, как они приведут к простою или отказу. Это помогает горнодобывающим компаниям снизить затраты на техническое обслуживание и свести к минимуму производственные потери.

Рис. 2. Технологические способы использования ИИ в компании «Алроса»

Автономное оборудование – для управления и оптимизации горного оборудования, такого как буровые установки, грузовики и погрузчики, без необходимости в операторах-людях. Это повышает эффективность, продуктивность и безопасность за счет снижения риска несчастных случаев и травм.

Разведка полезных ископаемых – анализируя геологические данные, алгоритмы ИИ определяют районы с высоким потенциалом залежей полезных ископаемых и помогают горнодобывающим компаниям более эффективно направлять свои усилия на разведку.

Контроль качества – для контроля качества алмазов, который является критически важным процессом для компании. Алгоритмы позволяют автоматически обнаруживать дефекты и недостатки в алмазах, что позволяет улучшить качество продукции и повысить доверие клиентов. В ряде статей [7–12] приведён анализ важности качества алмазов с технологической точки зрения, для конечного качества готовой продукции после шлифования.

Прогнозирование спроса на алмазы – для прогнозирования спроса на алмазы на рынке, что помогает компании планировать свою деятельность и принимать решения по производству и продажам.

В целом, использование ИИ в горнодобывающей промышленности потенциально значительно повышает безопасность, эффективность, продуктивность и устойчивость технологических процессов. Однако внедрение технологий ИИ сталкивается с задачей потребности у работников специализированных навыков.

Компания «Газпром» – основные направления деятельности – геологоразведка, добыча, транспортировка, хранение, переработка и реализация газа, а также производство и сбыт тепло- и электроэнергии. В настоящее время ИИ является здесь одной из наиболее перспективных технологий при оптимизации процессов (рис. 3).

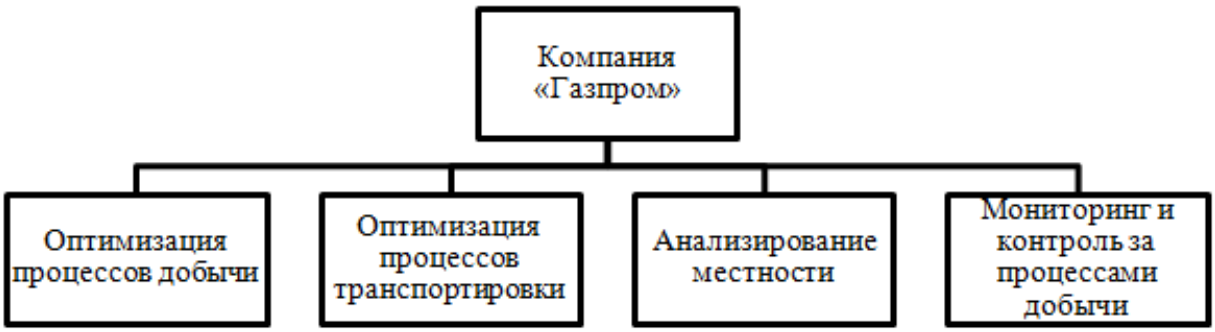


Рис. 3. Технологические способы использования ИИ в компании «Газпром»

Оптимизация процессов добычи и транспортировки природного газа – для улучшения точности прогнозирования объемов газа, которые могут быть добыты на определенном месторождении. Для оптимизации технологических процессов, связанных с эксплуатацией газовых скважин и газопроводов. Это позволяет уменьшить затраты на добычу и транспортировку природного газа, сократить риски, связанные с аварийными ситуациями, а также повысить эффективность использования ресурсов.

Оптимизация процессов обслуживания своих объектов и инфраструктуры – анализ больших объемов данных, связанных с состоянием оборудования, производительностью систем, уровнем энергопотребления и другими параметрами, с предоставлением оперативной информации о необходимости проведения технического обслуживания, замены оборудования и т.д. Для этого ИИ использует анализ данных, которые он получает с помощью датчиков, установленных на оборудовании. Алгоритмы ИИ анализируют данные о температуре, давлении, вибрации и других параметрах, которые могут свидетельствовать о неисправности. Используя эти данные, определяется, когда необходимо проводить техническое обслуживание, чтобы предотвратить возможные проблемы. Такой подход к управлению техническим обслуживанием позволяет компании сократить время простоя оборудования и повысить его эффективность. Также это позволяет сократить расходы на обслуживание и ремонт, что способствует увеличению прибыли компании.

Оптимизация управленческих решений – для решения задач, связанных с мониторингом и контролем за процессами добычи и транспортировки газа. С помощью ИИ компания может быстро провести анализ больших объемов данных и прогнозировать различные сценарии развития ситуации, что позволяет принимать более обоснованные управленческие решения и быстро реагировать на изменения в экономической и политической ситуации.

Выводы. Основные преимущества использования ИИ:

- внедрение ИИ в работу технологических компаний России имеет большой потенциал для повышения эффективности и качества работы, а также снижения затрат;
- использование ИИ позволяет компаниям не только оптимизировать свою деятельность, но и сохранять свои лидирующие позиции на соответствующих рынках;
- современные технологии позволяют компаниям быстро реагировать на изменения рыночной ситуации и улучшать качество своих продуктов и услуг;
- для того, чтобы эффективно использовать потенциал ИИ, компании должны продолжать внедрять новые технологии и разрабатывать собственные инновационные продукты;
- при этом компании должны активно сотрудничать с ведущими российскими и международными университетами и исследовательскими центрами в области ИИ и машинного обучения.

Однако, также необходимо учитывать следующие риски и ограничения:

- необходимость обеспечения безопасности и защиты конфиденциальной информации от потенциальной угрозы безопасности;

- обеспечение высокой степени надежности работы систем ИИ.

В целом, развитие ИИ в российских технологических компаниях является перспективным направлением, которое продолжит развиваться и давать новые возможности для различных отраслей экономики.

Литература:

1. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Звягинцева С.Ю., Александрова А.В. Новые возможности в совершенствовании инструментов инженерного анализа // В сборнике: Роль и значение науки и техники для развития современного общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2018. С. 160–163.

2. Головачёв Д.А., Попов В.Ю., Барсукова Е.А., Чиркова А.Н., Павлова Н.А. Сравнительный анализ "тяжёлых" систем автоматизированного проектирования // Механики XXI веку. 2021. № 20. С. 90–93.

3. Янюшкин А.С., Лосев А.Б., Якимов С.А., Попов В.Ю. Роль температуры при затачивании инструментов алмазными кругами на металлической связке // Металлургия и машиностроение: ежеквартальный специализированный информационный бюллетень. 2006. № 1. С. 49–53.

4. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Лосев Е.Д. Качество поверхности после алмазной обработки безвольфрамовых твердых сплавов // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 1 (55). С. 20–24.

5. Попов В.Ю., Шкуратова А.П., Хлыстов А.Н., Бондин А.В., Мирошниченко Н.А. 3D моделирование процесса комбинированной электроалмазной обработки // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 201–207.

6. Chang C.C., Szeri A.Z. A thermal analysis of grinding, Wear, 1998, 216 (1), P. 77–86.

7. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Хлыстов А.Н. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2017. № 1 (74). С. 30–39.

8. Chen J.H., Bernaerts D., Seo J.W., Van Tendeloo G., Kagi H. Voidites in polycrystalline natural diamond // Philosophical Magazine Letters. 1998. Vol. 77 (3). P. 135–140.

9. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Хлыстов А.Н. О разрушении алмазных зерен при шлифовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2016. № 4 (73). С. 16–23.

10. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // ICMTMTE 2017 MATEC Web of Conferences 129 (2017), 01002.

11. Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Богданов Р.К., Ильницкая Г.Д., Исонкин А.М. Влияние прочностных характеристик алмазных шлифпорошков на работоспособность бурового инструмента // Сверхтвердые материалы. 2009. № 6. С. 75–80.

12. Popov V.Yu., Rychkov D.A., Arkhipov P.V. Defects in diamonds as the basic adhesion grinding // ICMTMTE 2017 MATEC Web of Conferences 129 (2017), 01003.

Artificial intelligence technologies in Russian companies

Mohnachev V.A.[1,а], Popova M.V.[2,б]

[1]Bratsk State University, Makarenko, 40, Bratsk, Russia
[2]Bratsk School №18, Naimushina 18A, Bratsk, Russia
[а]vadim.mohnachev@gmail.com, [б]masyappv@mail.ru

Keywords: artificial intelligence, process automation, management, process optimization, product quality, cost reduction

The article presents ways to use artificial intelligence (AI) in Russian technology companies. The relevance of this topic is undeniable and is caused by the growing interest in the use of AI in

business and industry in general. Not the last role here was played by the fact that Russia is striving for technological leadership and competitiveness in the global technological market.

AI has become an integral part of modern manufacturing processes, allowing you to increase process efficiency while optimizing costs. By analyzing big data volumes and automating routine operations, AI is helping to speed up production and improve product quality, which allows companies to be more competitive in the market.

In general, the use of artificial intelligence in Russian technology companies has the potential to significantly improve process safety, efficiency, productivity and reliability. However, the adoption of artificial intelligence technologies can also come with challenges, such as workers needing specialized skills.

УДК 621.9

Сравнение экономической эффективности методов шлифования высокопористыми кругами

Бородин Р.К.[1,а], Попова М.В.[2,б]

[1]Братский государственный университет, ул.Макаренко 40, Братск, Россия
[2]МБОУ СОШ №18, ул.Наймушина 18А, Братск, Россия
[а]roman.borodin.1999@mail.ru, [б]masyappv@mail.ru

Ключевые слова: высокопористый инструмент, структура, металлорежущий инструмент, качество поверхности, абразивный шлифовальный круг.

В статье приведён сравнительный анализ структуры экономической эффективности современных высокопористых абразивных кругов. Актуальность данной темы связана с исследованиями повышения работоспособности шлифовальных кругов (ШК).

Сравнение экономической эффективности различных методов шлифования зависит от многих факторов, включая тип обрабатываемого материала, размер и форму деталей, необходимый качество поверхности, продолжительность процесса шлифования и других параметров. В целом, высокопористые ШК могут предоставить значительные экономические преимущества в процессе шлифования по сравнению с традиционными методами, такими как фрезерование и токарная обработка.

В целом, высокопористые ШК могут оказаться наиболее экономичным вариантом, если необходима обработка материалов с высокой твердостью и/или крупногабаритных деталей. В других случаях, например, при шлифовании мягких материалов, могут быть более экономичными другие методы, такие как абразивная струйная обработка или электрохимическое полирование.

Введение. Принципиальная новизна современного инструмента с повышенной пористостью заключается в том, что структура такого абразивного инструмента содержит минимальное количество абразивных зёрен, которые однородно и равномерно распределены в объёме ШК [1]. Повышенная пористость создаёт вполне определённые предпосылки для существенного расширения технологических возможностей [2, 3] при реализации эффективных условий шлифования [4, 5], включая их применение в новых схемах обработки [6-10]. Ранее проведёнными исследованиями [11-15] мы показали, что высокопористые ШК

могут быть изготовлены на основе различных связующих элементов, включая керамику, полимеры, металлы и стекло. Возможности, которые предоставляют высокопористые ШК для обеспечения заданного качества обработанной поверхности, также весьма широки [16-20].

Методология сравнения. Следующим этапом является сравнение экономической эффективности методов шлифования данными высокопористыми кругами. Некоторые из наиболее распространенных связующих элементов для высокопористых шлифовальных кругов приведены в таблице 1. Можно прийти к выводу, что выбор связующего элемента зависит от метода шлифования и поставленной задачи. Для выбора метода шлифования необходимо сравнить экономические параметры самых распространенных видов шлифования в различных отраслях, которые мы привели в таблицах 2 и 3.

Для сравнения экономической эффективности методов шлифования, можно рассчитать расходы на единицу продукции (единицу/руб) при условии производства 10 000 единиц продукции в год. Это может быть любое изделие, подразумеваемое в табл. 1.

Таблица 1

Связующие элементы высокопористых шлифовальных кругов

Связующий элемент	Описание	Отрасли применения
Керамика	Высокотемпературный материал, обладающий хорошей износостойкостью и термостойкостью. Керамические связующие могут быть использованы для изготовления высокопористых кругов для шлифования металлов, керамики, стекла и твердых материалов	Автомобильная промышленность, медицинская промышленность, аэрокосмическая промышленность, стекольная промышленность, электроника, металлургия
Полимеры	Легкие и гибкие связующие материалы, которые обеспечивают высокую пористость шлифовального круга. Полимеры часто используются для изготовления кругов для шлифования мягких материалов, таких как пластик и резина	Автомобильная промышленность, мебельная промышленность, текстильная промышленность, электроника
Металлы	Связующие материалы на основе металла, такие как алюминий или медь, могут быть использованы для изготовления высокопористых шлифовальных кругов для шлифования твердых материалов, таких как камень и бетон	Строительная промышленность, металлургия
Стекло	Стеклянные связующие материалы обладают высокой прочностью и износостойкостью и могут быть использованы для изготовления высокопористых кругов для шлифования твердых материалов, таких как керамика и стекло	Стекольная промышленность, керамическая промышленность

Таблица 2

Экономические параметры различных методов шлифования

Метод шлифования	Стоимость оборудования (руб.)	Стоимость материалов (руб./ед.)	Производительность (ед./час)	Расходы на обслуживание (руб./год)
Поверхностное шлифование	8 160 000 – 40 080 000	816 – 4080	50 – 100	816 000 – 4 080 000
Центровое шлифование	4 080 000 – 20 448 000	408 – 2448	30 – 50	408 000 – 2 448 000
Шлифование на цилиндрических шлифмашинах	4 080 000 – 16 320 000	408 – 1632	20 – 40	408 000 – 1 632 000
Плоское шлифование	4 080 000 – 16 320 000	408 – 1632	20 – 40	408 000 – 1 632 000

Анализируя таблицы, мы видим, что центровое шлифование является наиболее экономически эффективным методом с наименьшими расходами на единицу продукции.

Центровое шлифование подходит для обработки деталей со сложными геометрическими формами. Этот метод характеризуется высокой точностью и повторяемостью обработки.

Однако, при использовании центрового шлифования необходимо обеспечить правильное размещение детали на станке, что может потребовать дополнительных усилий. Также следует учитывать, что процесс шлифования может занять больше времени, чем при других методах, из-за того, что ШК обрабатывает деталь только в определенных зонах, что может привести к необходимости дополнительных проходов.

Поэтому, для выбора метода шлифования необходимо учитывать конкретную задачу, требования к точности и продуктивности, а также бюджет на оборудование и обслуживание.

Для сравнения различных видов шлифования, рассмотрим табл. 4, где указаны основные экономические параметры.

Таблица 3

Расчёт расхода на единицу продукции

Метод шлифования	Расходы на оборудование на единицу продукции (руб./ед.)	Расходы на материалы на единицу продукции (руб./ед.)	Расходы на обслуживание на единицу продукции (руб./ед.)	Итоговые расходы на единицу продукции (руб./ед.)
Поверхностное шлифование	1224 – 6120	0,816 – 0,408	81,6 – 408	1305,6 – 6936
Центровое шлифование	408 – 2448	0,0408 – 0,245	40,8 – 244,8	489,6 – 2937,6
Шлифование на цилиндрических шлифмашинах	408 – 1632	0,0408 – 0,163	40,8 – 163,2	489,6 – 1795,2
Плоское шлифование	408 – 1632	0,0408 – 0,163	40,8 – 163,2	489,6 – 1795,2

Таблица 4

Экономические параметры основных видов шлифования

Метод шлифования	Стоимость покупки оборудования	Стоимость установки оборудования	Стоимость обслуживания оборудования	Продуктивность	Точность обработки
Центровое	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая
Цилиндрическое	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
Плоское	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая

Как видно из таблицы, центровое шлифование является наиболее дорогостоящим в плане покупки и установки оборудования, но и обеспечивает высокую точность и продуктивность.

Цилиндрическое шлифование, в свою очередь, является более доступным методом и обеспечивает среднюю точность и продуктивность. Плоское шлифование – наименее затратный метод, но имеет наименьшую точность и продуктивность.

Таким образом, выбор метода шлифования будет зависеть от конкретной производственной задачи, её требований к точности и продуктивности, а также бюджета на покупку, установку и обслуживание оборудования.

Для сравнения различных типов материалов при шлифовании, рассмотрим табл. 5, где указаны основные экономические параметры.

Таблица 5

Основные экономические параметры материалов

Тип материала	Стоимость материала	Стоимость оборудования	Стоимость установки оборудования	Стоимость обслуживания оборудования	Продуктивность	Точность обработки
Металлы	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая
Керамика	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая
Композитные материалы	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя
Высокопористые материалы	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя

Как видно из табл. 5, металлы являются наиболее доступным типом материала для шлифования, но требуют средних затрат на оборудование и обслуживание. При этом обеспечивается средняя продуктивность и высокая точность. Керамика является более дорогостоящим типом материала, но обеспечивает высокую точность и продуктивность. Композитные материалы имеют средние затраты на оборудование и обслуживание, но обеспечивают высокую продуктивность. Высокопористые материалы могут быть использованы в различных методах шлифования и обеспечивают высокую продуктивность, что делает их более выгодным выбором, чем керамика. Однако, они не обеспечивают такую высокую точность, как металлы.

И в этом случае, выбор материала для шлифования будет зависеть от конкретной задачи и требований к точности и продуктивности, а также бюджета на покупку, установку и обслуживание оборудования.

Сравнение методом Life Cycle Costing. Для сравнения высокопористых ШК с другими типами шлифования, мы будем использовать методику сравнения затрат на 1000 единиц обработанных деталей (также называемую методом Life Cycle Costing, см. таблицу 6). Рассмотрим три различных типа шлифования и сравним их по затратам на обработку 1000 деталей.

Для сравнения будем использовать следующие параметры:

- затраты на покупку оборудования: стоимость необходимого оборудования для выполнения шлифования;
- затраты на установку оборудования: затраты на установку и настройку оборудования.
- затраты на обслуживание оборудования: затраты на регулярное техническое обслуживание и ремонт оборудования;
- затраты на расходные материалы: затраты на необходимые расходные материалы (шлифовальные круги и т.п.);
- затраты на труд: затраты на оплату труда персонала, занятого в процессе шлифования;
- производительность: количество деталей, которые можно обработать за определенное время.

Из таблицы видно, что высокопористые шлифовальные круги обладают наименьшими затратами на 1000 деталей. При этом производительность высокопористых кругов значительно выше.

Как можно видеть из таблицы 6, высокопористые ШК могут оказаться более экономичными в использовании, чем шлифование другими ШК в ряде случаев. Однако это зависит от ряда факторов, включая тип материала, который необходимо обработать, размер деталей, необходимые требования по поверхности и т.д.

Таблица 6

Сравнение затрат на 1000 деталей

Тип шлифования	Затраты на покупку оборудования, руб.	Затраты на установку оборудования, руб.	Затраты на обслуживание оборудования, руб.	Затраты на расходные материалы, руб.	Затраты на труд, руб.	Производительность, деталей/час	Затраты на 1000 деталей, руб.
Высокопористыми кругами	2 448 000	408 000	204 000	40 800	816 000	1,000	7996,8
Абразивными кругами	1 224 000	163 200	408 000	81 600	1 632 000	500	15 667,2
Электроэрозионная обработка	8 160 000	816 000	612 000	163 200	2 448 000	50	68 380,8

Результаты и обсуждение. Экономическая эффективность методов шлифования может зависеть от многих факторов, поэтому сравнительная экономическая таблица может быть недостаточно точной и объективной для всех случаев. В России есть множество

компаний, которые занимаются производством шлифовальных кругов. Однако, чтобы сделать точный список топ 10 российских производителей высокопористых шлифовальных кругов за последние 5 лет, требуется провести дополнительные исследования и анализ. Предлагаем список самых крупных российских компаний, которые занимаются производством шлифовальных кругов в целом:

- ОАО «Электрокорунд», elkorund.ru;
- ЗАО «Норд-Керамика», nordkeram.ru;
- ОАО «Южкорунд», yuzhkorund.ru;
- ЗАО «Кубанский абразив», kub-abraziv.ru;
- ЗАО «ЛУКОЙЛ-Нижнекамскнефтехим», lukoil.com.

Список ведущих мировых производителей высокопористых ШК включают в себя такие компании как:

- 3M Company, США;
- Saint-Gobain Abrasives, Франция;
- Klingspor AG, Германия;
- TYROLIT Group, Австрия;
- Deerfos Co., Ltd., Южная Корея;
- Noritake Co., Limited, Япония;
- Grindwell Norton Limited, Индия;
- Abrasive Technology, Inc., США;
- Linyi Jinxing Abrasive & Grinding Tools Co., Ltd., Китай;
- Foshan Ruiyan Abrasive Product Co., Ltd., Китай.

Однако, следует учитывать, что это не исчерпывающий список, и в него могут входить и другие компании, в зависимости от методологии исследования и выбора критериев.

Выводы. Результаты исследований, проведенные нами за последние 5 лет показывают, что шлифование высокопористыми ШК имеет следующие преимущества по сравнению с шлифованием другими ШК:

- меньшие затраты на оборудование и обслуживание;
- более высокая скорость и производительность, что позволяет увеличить производственную мощность и сократить время производства;
- лучшее качество поверхности и точность обработки, что повышает эффективность производства и уменьшает затраты на последующую обработку деталей.

Литература:

1. Бородин Р.К., Попов В.Ю., Чиркова А.Н., Барсукова Е.А., Фокина А.А. Сравнительный анализ структуры высокопористых абразивных шлифовальных кругов // Механики XXI веку. 2021. № 20. С. 85–89.

2. Komanduri R., Huang H., Raff M., Corbett J. A review of grinding process development and optimization using simulation // Journal of Manufacturing Science and Engineering. 2016. Vol. 138, no. 4. P. 134–180.

3. Shashkov Y., Gusarov A., Gushchin V., Tumarkin S. Comparative analysis of finishing methods of hardened steel surfaces // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. Vol. 102. P. 9–12.

4. Титова А.А. Применение высокопористых абразивных кругов в современном машиностроении // В сборнике: Россия молодая. Сборник материалов VI всероссийской, 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2014. С. 169.

5. Солер Я.И., Нгуен М.Т., Май Д.Ши. Оценка режущих способностей нитридборовых высокопористых кругов при плоском шлифовании деталей из стали 13Х15Н5АМ3 по макрогеометрии поверхности с использованием искусственного интеллекта // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 12 (681). С. 66–78.

6. Цветков Е.В. Высокоэффективная технология обработки секторов соплового аппарата высокопористыми кругами из сверхтвердых материалов // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2013. № 7 (25). С. 24–26.

7. Рябцев С.А., Цветков Е.В. Глубинное шлифование криволинейных поверхностей деталей высокопористыми кругами из кубического нитрида бора // Технология машиностроения. 2014. № 9. С. 11–14.

8. Полканов Е.Г., Старков В.К. Повышение стабильности свойств высокопористых шлифовальных кругов // В сборнике: Тенденции развития технических наук. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Научный центр «АЭТЕРНА». 2014. С. 23–25.

9. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Зубошлифование цилиндрических колёс высокопористыми шлифовальными кругами // СТИН. 2015. № 10. С. 19–23.

10. Larshin V., Lishchenko N., Pitel Ja. Intermittent grinding temperature modeling for grinding system state monitoring // Applied Aspects of Information Technology. 2020. Т. 3. № 2. С. 58–73.

11. Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V. Rationalization of polymer composite materials processing by improving production efficiency // В сборнике: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). Сер. "Procedia Engineering" 2016. С. 942–947.

12. Медведева О.И., Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Влияние параметров электроалмазного шлифования твердых сплавов на величину растворенного слоя // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2014. № 3 (64). С. 68–75.

13. Янюшкин А.С., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Янпольский В.В. Приспособление для измерения малых сил при электроалмазном шлифовании // Патент на изобретение RU 2215641 C2, 10.11.2003. Заявка № 2001116428/28 от 13.06.2001.

14. Popov V.Y., Yanyushkin A.S. Adhesion-diffusion interaction of contact surfaces with the treatment diamond grinding wheels // Eastern European Scientific Journal. 2014. № 2. С. 301–310.

15. Попов В.Ю., Большаков И.М., Гуглин Г.С., Распутин Е.В. Исследование процесса засаливания алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при обработке быстрорежущей стали Р6М5 // Механики XXI веку. 2010. № 9. С. 101–104.

16. Медведева О.И., Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Расчет энергии адгезии контактных поверхностей при шлифовании инструментальных материалов различными методами // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2014. № 5 (35). С. 14–19.

17. Попов В.Ю. Повышение качества изделий из инструментальных сталей при электроалмазном шлифовании // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Научно-исследовательский институт систем управления, волновых процессов и технологий Министерства образования РФ. Братск, 2002.

18. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Сурьев А.А. Качество инструмента из инструментальных сталей после обработки методом двойного травления // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2003. Т. 2. С. 206–212.

19. Янюшкин А.С., Лосев А.Б., Якимов С.А., Попов В.Ю. Роль температуры при затачивании инструментов алмазными кругами на металлической связке // Металлургия и машиностроение: ежеквартальный специализированный информационный бюллетень. 2006. № 1. С. 49–53.

20. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Лосев Е.Д. Качество поверхности после алмазной обработки безвольфрамовых твердых сплавов // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 1 (55). С. 20–24.

Comparison of the economic efficiency of grinding methods with highly porous wheels

Borodin R.K.[1,а], Popova M.V.[2,б]

[1]Bratsk State University, Makarenko, 40, Bratsk, Russia
[2]Bratsk School №18, Naimushina 18A, Bratsk, Russia
[а]roman.borodin.1999@mail.ru, [б]masyappv@mail.ru

Keywords: highly porous tool, structure, metal cutting tool, surface quality, abrasive grinding wheel.

The article presents a comparative analysis of the structure of economic efficiency of modern highly porous abrasive wheels. The relevance of this topic is associated with research on improving the performance of grinding wheels (GW).

Comparison of the cost-effectiveness of different grinding methods depends on many factors, including the type of material being processed, the size and shape of the parts, the required surface quality, the duration of the grinding process, and other parameters. In general, high porosity grinding wheels can provide significant economic advantages in the grinding process compared to traditional methods such as milling and turning.

In general, high porosity GWs may be the most cost-effective option when high hardness materials and/or large parts are to be machined. In other cases, such as when grinding soft materials, other methods such as abrasive blasting or electropolishing may be more economical.

УДК 338.36(65.011.56)

Сравнительный анализ применения CALS-технологий в России и за рубежом в области машиностроения

Эйтерник А.Ю[1,a]., Борисова О.В[1,b]

[1]Казанский Государственный Энергетический Университет, ул. Красносельская 51, Казань, Россия
[a]adeleyternik@yandex.ru, [b]vladimirobna@mail.ru

Ключевые слова: CALS-технологи, жизненный цикл продукции, информационные технологии, машиностроение.

В статье приведен сравнительный анализ применения концепции CALS-технологии. Рассмотрены случаи внедрения CALS-технологий на конкретных примерах. Сегодня машиностроение – это одна из наиболее развитых отраслей экономики, которая требует применения высокоэффективных систем автоматизации управления технологическими процессами. Одна из таких систем – CALS, внедрение которой позволяет значительно ускорить и улучшить качество изготавливаемой продукции. Сравнительный анализ применения CALS-технологий за рубежом и в России в области машиностроения позволит выявить основные проблемы и преимущества использования данной системы.

Главная задача отечественных машиностроительных предприятий заключается в создании и разработке наукоемкой продукции для выхода на мировой рынок среди стран лидеров. Для этого необходимо по большей степени сократить время на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), а также интегрировать процессы жизненного цикла изделий. Решением для данной проблемы является внедрение CALS-технологий в производство. CALS – это система управления жизненным циклом изделия, которая позволяет автоматизировать все этапы производства изделия – от его разработки до сервисного обслуживания. Особенностью данной системы является ее модульность, что позволяет настраивать работу системы под конкретные потребности предприятия. Кроме того, внедрение CALS-технологий существенно снижает время разработки и выпуска продукции, что является ключевым фактором в условиях современного рынка [1].

Концепция CALS-технологий стала востребованной в 80-х годах в военном обеспечении США. Предполагалось, что CALS (Computer Aided Logistic Support), как новый инструмент управления, позволяет сократить затраты на информационное взаимодействие между функциональными объектами для совершения поставок военной техники. CALS-технологии получили широкое распространение среди промышленных предприятий, вследствие чего концепция начала совершенствоваться и дополняться новыми инструментами. С этого момента данная концепция трактуется как Continuous Acquisition and Life cycle Support.

Дословный перевод первой части – Continuous Acquisition –непрерывные поставки, вторая часть – Life cycle Support – поддержка жизненного цикла продукции (ЖЦП) [2]. Тождественное наименование данной концепции в России – Информационная Поддержка жизненного цикла Изделия (ИПИ). Оба термина означают современный подход к проектированию и созданию технологичной продукции, применяя управленческие и информационные технологии на всем протяжении жизненного цикла изделия. Таким образом, идея, созданная для поддержки логистических систем, преобразовалась в информационно-интегрированную концепцию управления ЖЦП на всех его стадиях.

Основные свойства и направления развития CALS-технологий [3]:

1. Внедрение информационных технологий в процессы моделирования, проектирования и изготовления наукоемкой продукции.
2. Электронный документооборот.
3. Управление качеством, данными об изделии, закупками и поставками.
4. Интеграция безбумажных систем.

В России применение CALS-технологий в машиностроении не имеет широкого распространения, что связано с отсутствием финансирования, а также с низкой готовностью предприятий к внедрению новых технологий. Тем не менее, отдельные проекты по внедрению CALS-технологий уже реализовываются на отечественных предприятиях машиностроения. Так, например, в процессе создания новейших систем управления частотными преобразователями ОАО «РусЭлектроПривод» произошла интеграция системы CALS. В результате интеграции систем CALS повысилась производительность, сократилось время на разработку и производство продукции, улучшилось качество продукции и надежность ее работы, а также увеличилась финансовая результативность компании.

«Группа Роснефть» определила внедрение технологий CALS как один из приоритетных направлений стратегии цифровой трансформации. При этом, компания планирует создать централизованную систему управления всей технической документации жизненным циклом, упрощающую контроль и сокращающую время на их обработку [4].

«Газпром переработка» улучшила свои производственные процессы путем внедрения PLM-системы управления продуктом. Она позволяет ускорить процесс внедрения новых технологий, обеспечивает документирование и обмен информацией между различными службами, контролем и управлением конфигурацией продукта на всех этапах жизненного цикла.

За рубежом CALS-технологии широко применяются в авиационной и оборонной промышленности. В США и Европе многие производители уже перешли к полномасштабному использованию данной технологии. К примеру, американская авиастроительная компания «Boeing» использовала CALS-технологии при создании пассажирского самолета Boeing. Это позволило существенно сократить временные затраты на его проектирование, а также численность технической документации.

Западные страны, такие как США, Канада, Германия и Япония уже давно внедрили CALS-системы в производственные процессы. В большинстве случаев рассматривается внедрение единой системы, являющейся комбинацией PLM, CAD, MES, PDM и других систем CALS-технологий. Среди приоритетных направлений CALS-технологий можно выделить [5]:

1. Использование 3D-моделирования при проектировании продукции и создании технологических карт.

2. Использование систем управления и PLM-систем для управления информационными потоками, упрощения документооборота и улучшения сотрудничества между различными отделами.

Введение в действие таких технологий способствует значительному сокращению времени проектирования и выпуска продукции, минимизации ошибок в документации и на производстве, а также повышению общей эффективности производства. Это, с одной стороны, ускоряет разработку и выпуска продукции, с другой – позволяет сократить издержки жизненного цикла продукта и контролировать качество всех стадий производства, что повышает доверие потребителей к продукции.

Современный мир требует все более точного и быстрого производства продукции, что невозможно без использования передовых технологий в машиностроении. CALS-технологии сегодня являются одним из наиболее перспективных направлений в машиностроении, позволяющим существенно повысить эффективность производства и качество продукции.

Таким образом, CALS-технологии в настоящее время являются необходимым инструментом для повышения эффективности производства. Сравнительный анализ применения данной технологии показывает, что за рубежом эти технологии получили широкое распространение и применяются на практике на более высоком уровне, чем в России. Однако, несмотря на это, в России CALS-технологии не являются малозначимыми, и их применение ведется в некоторых отраслях машиностроения.

Литература:

1. Погорелов, В. И. Система и ее жизненный цикл: введение в CALS-технологии : учебное пособие / В. И. Погорелов ; В. И. Погорелов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Балтийский гос. технический ун-т "Военмех". – Санкт-Петербург : БГТУ, 2010.

2. Попова, А. А. Использование CALS-технологий в машиностроении на примере разработки трехмерных моделей типовых изделий / А. А. Попова, И. Н. Шубин, Р. Э. Алиев // . – 2020.

3. Гажева, А. В. Особенности применения CALS-технологии в сфере машиностроения / А. В. Гажева, В. П. Молчанов, К. А. Харитонова // Современное состояние экономики России: вызовы, возможности, риски : Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 21 декабря 2021 года / под общ. ред. И.В. Вякиной, Г.Г. Скворцовой. Том Часть 2. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2022.

4. Ильин, О. Н. Экономическая эффективность CALS-технологий в маркетинге продукции авиационно-космического машиностроения / О. Н. Ильин, Н. И. Жежера // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 14–15 ноября 2013 года / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный университет". – Оренбург: ООО ИПК "Университет", 2013.

5. Асеева, Е. Н. Лабораторный практикум. CALS-технологии в машиностроении / Е. Н. Асеева. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2015. – 64 с.

Comparative analysis of the use of CALS technologies in Russia and abroad in the field of mechanical engineering

Eyternik A.Y.[1,a], Borisova O.V.[1,b]

[1] Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russian Federation

[a]adeleyternik@yandex.ru, [b]vladimirobna@mail.ru

Keywords: CALS-technologies, product life cycle, information technology, mechanical engineering.

The article presents a comparative analysis of the application of the concept of CALS technology. The cases of the introduction of CALS technologies on specific examples are considered. Today, mechanical engineering is one of the most developed branches of the economy, which requires the use of highly efficient automation systems for process control. One of such systems is CALS, the implementation of which allows you to significantly speed up and improve the quality of manufactured products. A comparative analysis of the use of CALS technologies abroad and in Russia in the field of mechanical engineering will reveal the main problems and advantages of using this system.

УДК 621.37

Квадрофилярная антенна 137 мгц для приема радиосигнала спутников «cubesat»

Добросоцкий Н. М.[1,a], Антоненко И.Р.[1,b], Шастовский П. С.[1,c]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a]nikistal500@mail.ru, [b]shastovsky@mail.ru

Ключевые слова: радиосигнал, антенна, спутник, CubeSat.

В связи с появлением спутниковой связи и навигации и необходимостью принимать и передавать телеметрию на спутники, так же на CubeSAT, в рамках университета СибГУ им. ак. Решетнева, появилась потребность в разработке квадрофилярной антенне 137Мгц, которая имеет нужные характеристики для ведения радионаблюдения и принятие радиосигнала с исследовательских, метеорологических, ретрансляционных спутников.

Введение. На данный момент применяются для приема и передачи спутниковой связи большое количество видов антенны различных поляризаций, конструкций и типов, одна из популярных и эффективных антенн является квадрофилярная антенна. Данная антенна относится к антенной технике и может быть использовано в качестве антенны приемного устройства спутниковой навигации. Спиральные антенны широко используются в различных радиоэлектронных системах, в том числе и в системах навигации. [1]

Состояние вопроса. К числу их достоинств относятся простота конструкции, относительно малые габариты и при этом направленность излучения. Хорошо известны антенны на основе однозаходной спирали (Kraus J.D. «A 50-Ohm Input Impedance for Helical Beam Antennas» IEEE AP. V. AP-25. №6. P.913). Недостатком таких антенн являются их большие габариты, обусловленные тем, что для удовлетворительной работы антенны необходимо большое количество витков для формирования волны, бегущей вдоль спирали. Рассматриваемая антенна имеет малые габариты, состоит из 4 медных проводников расположенных перпендикулярно друг другу на определенном расстоянии и соединены дугообразными проводниками между собой для обеспечения эффективного приема радиосигнала со спутника. [2]

Квадрифилярная антенна с медными трубкообразными проводниками отличается высокой технологичностью и эффективностью приема, однако она не всегда удовлетворяет требованиям к механической прочности, в силу особенностей технологии изготовления имеет достаточно малую толщину и диаметр медных активных проводников. Для улучшения механической прочности в конструкцию антенны вводится специальные каркасные деревянные приспособления, которые фиксируют активные части антенны.

Антенна квадрофилярная состоит из двух рамок повернута перпендикулярна друг другу на 90 градусов что формирует эффект круговой поляризации, и так как применяется 2 элемента, то создается 4-5 дб в зависимости от отношения высоты и ширины. Данная антенна имея спиралевидную форму изгибается по спирали создавая и направляя диаграмму направленности вверх, что дает отличные характеристики для принятия радиосигнала с воздуха или со спутника в диапазоне УКВ. [3]

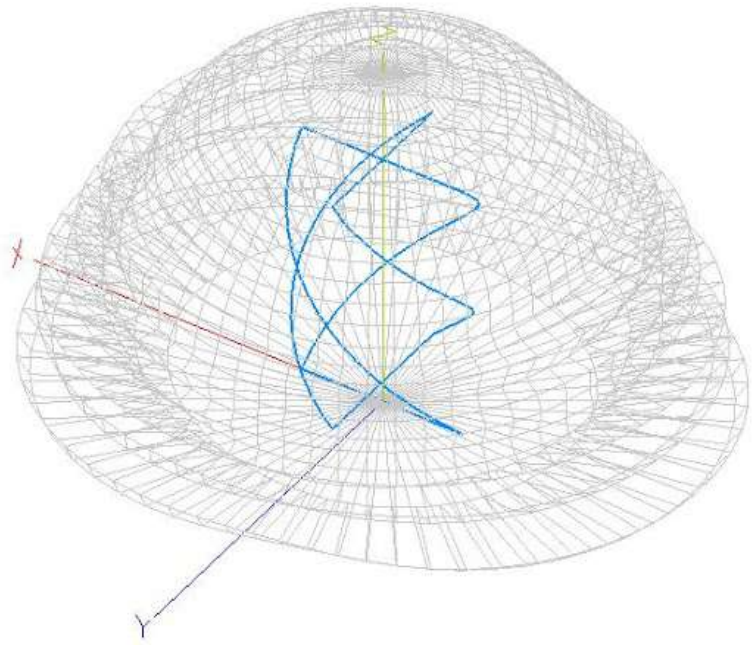


Рис. 1. Диаграмма направленности квадрофилярной антенны

В результате квадрофилярная антенна имеет полусферическую диаграмму направленности, что дает возможность ее стационарного размещение и отсутствие необходимости перемещать для лучшей силы сигнала.

Возможны дополнительные варианты выполнения квадрифилярной антенны, в которых: - центральный и боковые проводники выполнены в виде полосковых проводников, причем центральный и боковые проводники имеют разную ширину w1 и w2 соответственно, отношение которых установлено в пределах: [4]

$$0{,}5 \leq \frac{W_1}{W_2} \leq 2$$

Зазоры s между центральным и боковыми проводниками выполнены одинаковыми, а их отношение к ширине центрального проводника установлено в пределах:

$$0{,}2 \leq \frac{S}{W_1} \leq 1{,}2$$

Заключение. Квадрофилярная всенаправленная антенна достаточно распространенная антенна с достойными характеристиками, позволяющая принимать сигнал с разных сторон эффективно за счет своей особенной конструкции, данная антенна позволит эффективно принимать радиосигнал со спутников CubeSat для того чтобы дешифровать и получать данные телеметрии со спутников. [5]

Литература:

1. Курангышев, А. В. Влияние запаздывания сигналов на космических линиях связи на системы управления космических аппаратов / А. В. Курангышев, А. В. Дедушкин, А. В. Казначеев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 3 (107). — С. 135-137. — URL: https://moluch.ru/archive/107/25742/ (дата обращения: 11.03.2022).
2. Курангышев, А. В. Дедушкин, А. В. Казначеев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 3 (107). — С. 135-137. — URL: https://moluch.ru/archive/107/25742/ (дата обращения 15.03.22).
3. Андрусевич Л. К., Ищук А. А., Лайко К. А., Антенны и распространение радиоволн: учебник для вузов, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.-39 (дата обращения 15.03.22).
4. Застела М. Ю., «Основы радиоэлектроники и связи», Казань: ЗАО «Новое знание», 2009.-340 с. Электронный ресурс, сайт: http://spacegid.com/voyadzher-1–37-let-v-polete.html, дата обращения: 20.01.2016 г. (дата обращения 17.03.22).
5. Антенны. К. Ротхаммель. 2010г. 2 Тома, сайт: http://www.artradiolab.com/kv9.htm.

Quadrifilar antenna for receiving the radio signal from «cubesat» satellites

Dobrosotsky N. M. [1,a], Antonenko I.R. [1,b], Shastovsky P. S. [1,c]

[1]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[a]nikistal500@mail.ru, [b]shastovsky@mail.ru

Keywords: radio signal, antenna, satellite, CubeSat.

Due to the advent of satellite communications and navigation and the need to receive and transmit telemetry to satellites, as well as to CubeSat, within the framework of the University of SibSU named after A. Reshetnev, there was a need to develop a 137 Mhz quadrifilar antenna, which has the necessary characteristics for conducting radio surveillance and receiving a radio signal from research, meteorological, relay satellites.

УДК 64.012.42

Общий алгоритм использования облачных технологий при проектировании технологического процесса изготовления детали

Буленков Е. А[1a], Тяпков Н. Р.[1b]

[1]Донецкий национальный технический университет, ул. Артёма, 58, г. Донецк, Россия.
[a] y.bulenkov@yandex.ru

Ключевые слова: Индустрия 4.0, облачные технологии, технологический процесс, Fusion 360.

В работе рассмотрен общий алгоритм использования облачных технологий при проектировании технологического процесса изготовления детали. Представлен общий алгоритм проектирования технологического процесса и описаны его основные этапы.

Показана высокая эффективность облачных технологий при разработке технологических процессов изготовления деталей машин.

Использование технологий Индустрии 4.0 позволяет машиностроительным предприятиям увеличить эффективность производства, оптимизировать логистику, улучшить качество продукции, повысить гибкость производства и улучшить безопасность работников и оборудования [1, 2]. В машиностроении применяются различные облачные технологии, - облачные вычисления, облачное хранение данных, облачные сервисы, интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI) [3]. Использование облачных технологий, как одной из сквозных технологий Индустрии 4.0, позволяет повысить производительность, снизить затраты, улучшить совместную работу и обеспечить безопасность данных [4, 5]. Вместе с тем, выявление эффективных областей применения и разработка методических рекомендаций по использованию данных технологий является актуальной задачей.

Целью данной работы является разработка общего алгоритма проектирования технологического процесса изготовления деталей машин угольного машиностроения с использованием возможностей современных облачных САПР и баз данных расположенных в глобальной сети. При этом важной задачей является достижение требуемого критерия качества и эффективности, который для условий производства изделий угольного машиностроения может оцениваться по параметру качества, производительности и себестоимости.

На рисунке 1 представлена блок схема общего алгоритма проектирования технологического процесса производства вала шестерни. Задачей разработки технологического процесса является достижение эффективности по критерию себестоимости производства единицы изделия.

Исходными данными при разработке технологического процесса является чертеж детали и годовая программа выпуска а также предельные затраты на проектирование технологии и изготовление единицы изделия, выражающие показателем себестоимости изделия.

Первым этапом разработки технологического процесса является разработка 3Д модели и рабочего чертежа детали «вал-шестерня». Данный процесс целесообразно выполнять в облачной системе Fusion 360 поскольку данная программа предоставляет возможность использования внешним модулей для проектирования сложных криволинейных поверхностей в частности зубчатых венцов а также содержит расширенную базу данных стандартных конструктивных элементов деталей. Также система содержит модуль оценки правильности оформления и соблюдения требований ЕСКД.

Далее на базе структурного синтеза технологических процессов с использованием графов из всех возможных вариантов технологических маршрутов обработки элементарных поверхностей генерируется наиболее рациональные маршруты обработки каждой поверхности, из последовательности которых формируется общий технологический процесс обработки детали. После этого также в системе Fusion 360 требуется создать операционные эскизы для обработки детали на операциях технологического процесса. При этом система благодаря использования шаблонов и эффективных средств построения на основе 3Д модели позволяет значительно упростить данную задачу.

Следующим этапом выполняется расчет и назначение режимов резания на каждую технологическую операцию, разработка управляющей программы для станков с ЧПУ и определение норм времени. Эти процессы эффективно реализуются с использованием CAM модуля Fusion 360, содержащие обширную базу данных по определению режимов резания, типовым циклам обработки и по нормам времени на основные и вспомогательные технологические переходы.

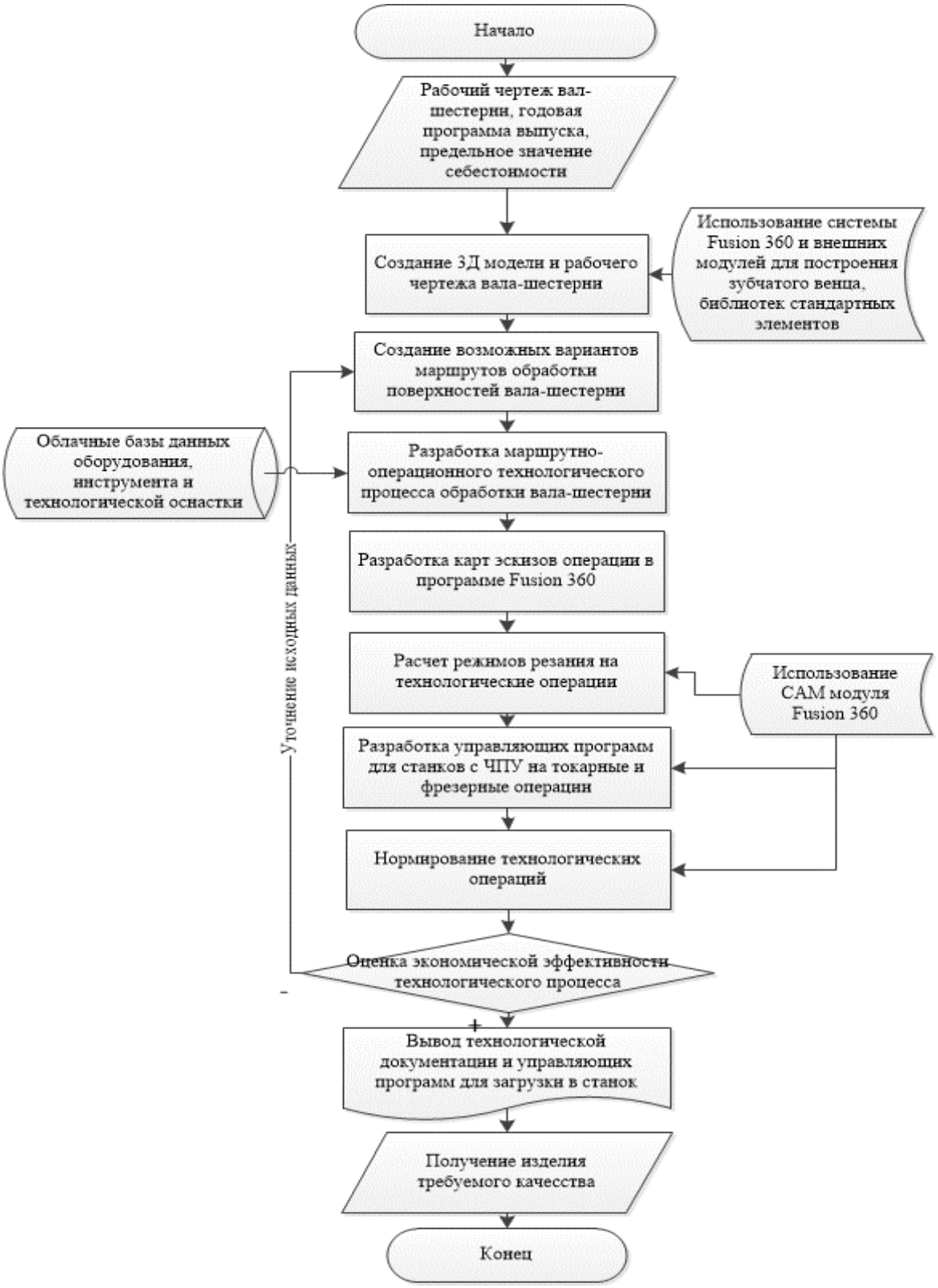


Рис. 1. Блок схема общего алгоритма проектирования технологического процесса производства вала шестерни

После полного составления технологического процесса выполняется оценка эффективности технологического процесса. Данный элемент представлен условным блоком в алгоритме.

В случае соответствия экономической эффективности требуемому уровню выполняется вывод результатов разработки в форме представления технологической

документации, а также управляющих программ на электронных носителях для их последующей загрузки на станок с ЧПУ.

Результатом разработки технологического процесса по данному алгоритму является получение изделия требуемого качества с технико-экономическими показателями, удовлетворяющими заданному уровню.

Таким образом разработанный алгоритм проектирования технологического процесса позволяет эффективно использовать облачные технологии и современные достижения Индустрии 4.0 при разработке технологического обеспечения производства деталей угольного машиностроения. Использование Fusion 360 при проектировании технологии изготовления деталей позволяет упростить совместную работу, ускорить процесс разработки, создавать более точные и оптимизированные детали, а также упрощать процесс производства.

Литература:

1. Julia Siderska, Khair S. Jadaan (2018) Cloud manufacturing: a service-oriented manufacturing paradigm. A review paper // Engineering Management in Production and Services.- Volume 10. Issue 1. P. 22-31

2. "Cloud-Based Manufacturing: State-of-the-Art and Future Trends" by J. Zhang, Y. Liu, and Y. Li (2018)

3. "Cloud Manufacturing: A New Paradigm for Smart Manufacturing" by X. Xu, J. Wang, and L. Zhang (2018)

4. Xi Vincent Wang, Mohammad Givehchi, Lihui Wang (2017) Manufacturing system on the cloud: a case study on cloud-based process planning // Procedia CIRP 63 39 – 45.

General algorithm for the use of cloud technologies in the design of the technological process of manufacturing a part

Bulenkov E. A[1a], Tyapkov N. R.[1b]

[1]Donetsk National Technical University, st. Artyoma, 58, Donetsk, Russia.
[a]y.bulenkov@yandex.ru

Keywords: Industry 4.0, cloud technologies, workflow, Fusion 360.

The paper considers a general algorithm for using cloud technologies in the design of the technological process for manufacturing a part. A general algorithm for designing a technological process is presented and its main stages are described. The high efficiency of cloud technologies in the development of technological processes for the manufacture of machine parts is shown.

УДК 621:004.896

Автоматизация производства в машиностроительной промышленности

Маслов И.Н. [1 a], Сарбаева Я.И.[1,b]

[1]Казанский государственный энергетический университет, Красносельская 51, Казань, 420066, Российская Федерация
[a] ig-mas@mail.com, [b] sarbaeva1000@gmail.com

Ключевые слова: автоматизация производства, машиностроительная промышленность, снижение затрат, повышение эффективности, компьютерное управление оборудованием, робототехника, автоматическое управление процессами, ускорение процесса производства, повышение качества продукции, сокращение затрат на оплату труда, улучшение условий работы для рабочих, экономия ресурсов, адаптация к новым технологиям.

В статье раскрыт процесс автоматизации производства в машиностроительной промышленности, который позволяет снизить затраты на производство и повысить его эффективность. Автор рассказывает о различных технологиях, таких как компьютерное управление оборудованием, робототехника и автоматическое управление процессами, которые используются для достижения этой цели. Текст подчеркивает преимущества автоматизации, такие как сокращение количества рабочей силы, повышение качества продукции и увеличение конкурентоспособности предприятий. В целом, автоматизация производства является необходимым шагом для развития машиностроительной промышленности и сохранения конкурентоспособности на рынке.

Автоматизация производства в машиностроительной промышленности – это процесс внедрения современных технологий и систем управления, позволяющих снизить затраты на производство и повысить его эффективность. Сегодня автоматизация является одним из ключевых факторов развития машиностроения. Одной из основных задач автоматизации является сокращение времени производства и увеличение его объемов. Это достигается за счет внедрения новых технологий, таких как компьютерное управление оборудованием, робототехника, автоматическое управление процессами и др. Компьютерное управление оборудованием позволяет управлять процессом производства с помощью компьютера, что значительно сокращает время настройки и переналадки оборудования. Робототехника – это использование роботов для выполнения определенных операций на производстве, что позволяет снизить затраты на рабочую силу и увеличить точность и скорость выполнения операций (рис.1). Автоматическое управление процессами позволяет контролировать процесс производства на всех его этапах, что позволяет снизить количество брака и повысить качество продукции. Это достигается за счет использования датчиков и систем контроля, которые позволяют мгновенно реагировать на любые отклонения от нормы. Одним из главных преимуществ автоматизации производства является снижение затрат на производство. Автоматические системы позволяют сократить количество рабочей силы и использовать ресурсы более эффективно. Кроме того, автоматизация позволяет снизить количество брака и повысить качество продукции, что в свою очередь увеличивает конкурентоспособность предприятия.

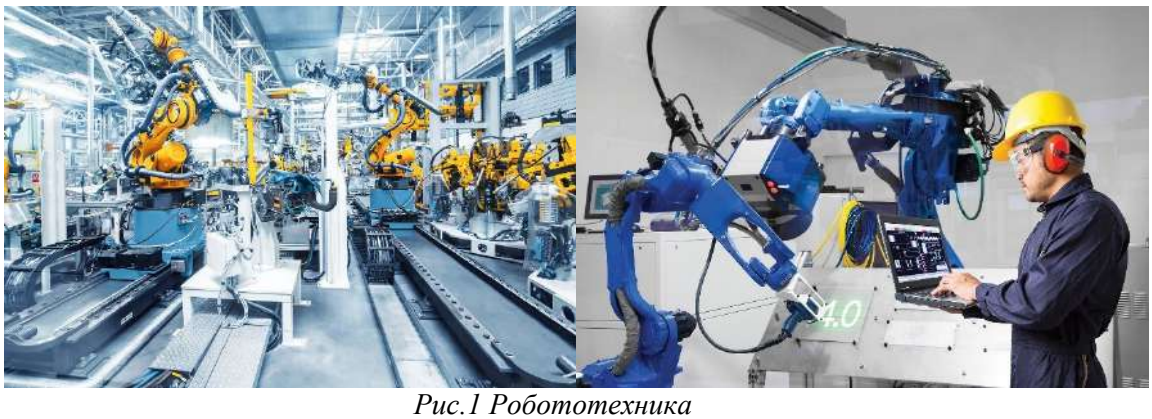


Рис.1 Робототехника

Одним из ключевых преимуществ автоматизации производства в машиностроительной промышленности является ускорение процесса производства и

снижение времени, необходимого для производства продукции. Это позволяет предприятиям быстрее реагировать на изменения на рынке и удовлетворять потребности клиентов. Кроме того, автоматизация производства позволяет снизить количество брака и повысить качество продукции, что в свою очередь увеличивает доверие потребителей и укрепляет репутацию предприятия. Еще одним важным преимуществом автоматизации производства является возможность сокращения затрат на оплату труда рабочих. Это особенно актуально в условиях роста зарплат и социальных выплат. Стоит отметить, что автоматизация производства не означает полное отсутствие человеческого фактора. Работа роботов и автоматических систем требует контроля и управления со стороны специалистов, что создает новые рабочие места в области инженерии и программирования. В целом, автоматизация производства в машиностроительной промышленности является необходимым шагом для повышения эффективности, снижения затрат и укрепления конкурентоспособности предприятий.

Другим важным преимуществом автоматизации производства в машиностроительной промышленности является улучшение условий работы для рабочих. Они больше не вынуждены выполнять тяжелую физическую работу, которая может негативно сказываться на здоровье. Вместо этого, они могут заниматься более интеллектуальной работой, такой как контроль и управление автоматическими системами. Кроме того, автоматизация производства позволяет сократить количество необходимых материалов и энергии для производства продукции. Это приводит к экономии ресурсов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Наконец, автоматизация производства позволяет предприятиям быстрее адаптироваться к новым технологиям и изменениям в требованиях рынка. Благодаря автоматическим системам, процессы производства могут быть быстро изменены и оптимизированы для новых условий. Однако, следует отметить, что внедрение автоматизации производства может быть дорогостоящим и требовать значительных инвестиций. Кроме того, необходимо учитывать возможные риски, связанные с автоматическими системами, такие как сбои и отказы в работе. В целом, автоматизация производства в машиностроительной промышленности имеет множество преимуществ и является необходимым шагом для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий. Однако, необходимо тщательно оценить все возможные риски и затраты перед внедрением автоматических систем.

Кроме того, автоматизация производства позволяет снизить количество ошибок и дефектов в производственном процессе. Это связано с тем, что автоматические системы могут более точно контролировать и регулировать параметры производства, чем человеческий фактор. Также автоматизация производства может ускорить процессы производства и сократить время на производство продукции. Это может быть особенно важно для компаний, работающих в условиях жесткой конкуренции, где каждая минута может иметь значение. Кроме того, автоматизация производства может улучшить качество продукции и повысить уровень ее соответствия стандартам. Это может быть особенно важно для компаний, работающих в отраслях, где требования к качеству продукции очень высоки, например, в авиационной или медицинской промышленности. Наконец, автоматизация производства может снизить затраты на оплату труда и улучшить финансовые показатели предприятия. Это связано с тем, что автоматические системы могут заменить человеческий фактор в некоторых производственных процессах, что может снизить количество необходимых рабочих и соответственно затраты на оплату труда. В целом, автоматизация производства в машиностроительной промышленности имеет множество преимуществ и может значительно повысить эффективность и конкурентоспособность предприятий. Однако, перед внедрением автоматических систем необходимо тщательно оценить все возможные риски и затраты, а также учитывать особенности конкретной отрасли и требования рынка.

В заключение можно сказать, что автоматизация производства – это необходимый шаг для развития машиностроительной промышленности. Она позволяет сократить затраты на производство, увеличить его эффективность и повысить качество продукции. Предприятия, которые не используют современные технологии и системы управления, рискуют не суметь конкурировать на рынке.

Литература:

1. "The Benefits of Automation in Manufacturing" by Mark Crawford, IndustryWeek, August 2019.
2. "The Future of Manufacturing: Automation and AI" by Bernard Marr, Forbes, May 2019.
3. "Automation in the Manufacturing Industry: Current Trends and Future Directions" by Michael G. Kay, Journal of Manufacturing Systems, January 2017.
4. "The Advantages and Disadvantages of Automation in the Automotive Industry" by David Silverstein, Quality Digest, October 2019.
5. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использованиеи золошлаковых отходов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 26-36. EDN UYCPTJ.
6. Mingaleeva G. R. On the mechanism of a helical motion of fluids in regions of sharp path bending // Technical Physics Letters. 2002. Vol. 28. No. 8. P. 657-659. DOI 10.1134/1.1505541. – EDN LHGBUT.

Automation of production in the machine-building industry

Maslov I.N. [1,a], Sarbaeva Ya.I. [1,b]

[1]Kazan State Power Engineering University, Krasnoselskaya 51, Kazan, 420066, Russian Federation.
[a] ig-mas@mail.com, [b] sarbaeva1000@gmail.com

Keywords: automation of production, machine-building industry, cost reduction, efficiency improvement, computer control of equipment, robotics, automatic process control, acceleration of the production process, improvement of product quality, reduction of labor costs, improvement of working conditions for workers, resource savings, adaptation to new technologies.

The article reveals the process of automation of production in the machine-building industry, which allows to reduce production costs and increase its efficiency. The author talks about various technologies, such as computer control of equipment, robotics and automatic process control, which are used to achieve this goal. The text highlights the benefits of automation, such as reducing the number of workers, improving product quality and increasing the competitiveness of enterprises. In general, automation of production is a necessary step for the development of the machine-building industry and maintaining competitiveness in the market.

КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК. 631.3-1/-9

Исследования износа и вибраций зубчатых передач в сельскохозяйственном оборудовании

Попов А.М.[1,a], Мехдиев Р.В.О.[1,b]

[1]Кемеровский государственный университет, бульвар Строителей 47, г. Кемерово.
[b]mehdiev23@mail.ru

Ключевые слова: зубчатые передачи, износ, вибрации, сельскохозяйственные машины, тензометрический способ, акселерометрический способ, торсиографический способ.

В данной работе было изучено влияние вибрационных сил, динамических нагрузок на износ зубчатых колес, а так же определение амплитуды колебаний колес в процессе эксплуатации.

Введение. На сегодняшний день сельскохозяйственный транспорт – это неотъемлемая часть жизни людей. Сельскохозяйственная техника помогает сократить время, облегчает добычу необходимых ресурсов и труд человека.

Условия эксплуатации машин весьма разнообразен. Транспорт используется в личных целях, в доставках, в перевозке людей из пункта «А» в пункт «Б», в сельскохозяйственной промышленности и т.д. По этому, в машине идет процесс износа рабочих деталей. Ремонтные работы данных деталей весьма разный и бывает порой высоко затратный, если не произвести вовремя ремонт узла агрегата. По статистике, к 4-5 году эксплуатация происходит поломка в 18-22 % случаев.

Причина повышенной вибрации – неуравновешенность быстровращающихся деталей и сборочных единиц (карданных и коленчатых валов, маховиков, шкивов, дисков сцепления колес и т. д.). Неуравновешенность деталей возникает вследствие неравномерной плотности материала, погрешностей обработки деталей, неточностей сборки сборочных единиц (перекосы, смещения и т. д.), появления износов и деформаций в процессе эксплуатации машин. Вибрация создает дополнительные нагрузки на детали, в том числе и на подшипники, в результате чего они изнашиваются интенсивнее [1].

Износ – результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы. Износ деталей и соединений приводит к ухудшению функциональных показателей машины и, как правило, регламентирует их ресурс.

Под износостойкостью понимают свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания.

К внутренним факторам, вызывающим изменение исходных характеристик машины, относят несовершенство конструкции машин (физико-механические свойства материалов, используемых для изготовления деталей), технологии их изготовления или ремонта [2].

В настоящее время эксплуатация сельскохозяйственного транспортного средство регламентируется нормативно технической документацией, в которой не отражено место диагностики по параметрам работающего масла в структуре системы технического обслуживания и ремонта, что свидетельствует о недостаточной проработанности вопроса организации производственных процессов в автомобильно транспортном предприятии.

Поставка задачи. Исследование методики износа зубчатых колёс на основе акустических и вибрационных воздействий.

Объект исследования. При выборе основных параметров зубчатых колес для проведения испытаний учитывались статистические данные в отношении применяемости цилиндрических прямозубых передач в приводах машин. Анализ этих данных показал, что в рассматриваемых машинах используются зубчатые передачи, имеющие передаточное число в интервале U= 1-4 мм., причём чаще встречается передачи с U= 2-3 мм. Габариты этих передач различные: так для ручных буровых сверл [1] чаще используются передачи с межосевым расстоянием Q_w от 50 до 130 мм, для транспортных и сельскохозяйственных машин - a_w = 100-180 мм. Учитывая тот факт, что передаточное число должно быть достаточно распространенным в реальных зубчатых передачах, а межосевое расстояние при этом передаточном числе должно обеспечить, возможно, больший диапазон модулей, для исследования влияния модуля на изменение параметров зацепления при изнашивании, было принято передаточное число u = 3, а межцентровое расстояние Q_w = 120 мм. Для исследования влияния передаточного числа на изменение параметров зацепления при износе, кроме указанного u = 3, при том же a_w=120 мм испытывались также зубчатые передачи с U = 2,33, u=1,606 и U = 1,333. Исследования проводились как на зубчатых колесах с твердостью НВ < 350, так и с твердостью НВ > 350.

Как известно, величина модуля зацепления при проектировании передач обычно назначается в пределах (0,01 – 0,02) a_w , причем для силовых передач брать модуль меньше m= 1,5 - 2 мм не рекомендуется, а в случае перегрузок или при возможности износа зубьев колес берется верхнее значение, то есть m= 0,02 [3].

Учитывая сказанное, в качестве нижнего предела диапазона модулей в наших опытах был принят m= 2 мм. Поскольку, в наших исследованиях предполагалось доводить испытания до тех пор, пока износ зубьев не достигнет предельного значения, ограниченного запасом прочности зуба по напряжениям изгиба, то в качестве верхнего предела следовало взять, возможно, больший модуль, даже допуская число зубьев меньше минимального из условия не подрезания зубьев. Принимая во внимание, что в отдельных случаях можно брать число зубьев Z_1= 14 [4], в качестве максимального модуля был принят для передачи с u = 3, m = 5 мм при числе зубьев Z_1 = 12, при U = 1,222 испытывалась также передача с m = 6 мм и Z_1= 18. Так как при числе зубьев меньше Z_1= 17 имеет место подрезание, которое обычно устраняется с помощью соответствующего подбора коэффициентов смещения исходного контура X_1 и X_2 , то наряду с некорригированными передачами для исследования была принята и корригированная передача с m = 5 мм и Z_1 = 12 при u = 3.

В качестве материала зубчатых колес использовались для шестерен сталь 40Х, для колес сталь 45. Зубчатые колеса прямозубчатые, нарезались долбяком и соответствовали 8 степени понормам плавности ГОСТ 1643-81. Рабочая ширина колес принималась равной b=20 мм. Опыты проводились при частоте вращения шестерни редуктора n_1 = 1420 об/мин и рабочей нагрузки, определенной, как предельная из расчета на контактную прочность по ГОСТ 21354-87. При этом в зацеплении обеспечивалась удельная нагрузка, при которой влияние ее на скорость изнашивания сказывается незначительно [5].

Метод исследования. Испытания проводились на замкнутой установке. Однако, для проведения испытаний на износ, динамической нагрузки и определения амплитуды колебаний колес была принята установка, выполненная по разомкнутой схеме.

Теоретическое исследование динамики зубчатых передач в настоящее время базируется на двух методах.

По первому методу усилия при входе зуба в зацепление определяются в предположении, что колебательный процесс, вызванный предыдущим соударением зубьев, успел к данному моменту времени затухнуть и, следовательно, величины угловых скоростей колес в начале соударения равны их номинальным значениям, а нагрузка на зубьях равняется статическому усилию [6].

По второму методу принимают, что колебания за промежуток времени между двумя последовательными соударениями зубьев не успели затухнуть; движение колес, состоящее

из стационарного вращения, на которое накладываются колебания и последовательные соударения при входе зубьев в зацепление, рассматриваются как непрерывный процесс [6].

При экспериментальном исследовании динамики зубчатых передач применяются разные методы: тензометрический, акселерометрический, торсиографический [7].

Передачи, работающие в условиях абразивного изнашивания, как правило, низко и средне оборотные, имеющие частоты меньше 1600 гц. Для таких передач возможно применение не только тензометрического и акселерометрического методов, но и торсиографического, с помощью которого измеряются только крутильные колебания, зато этот метод как и тензометрический обслуживается наиболее простой аппаратурой, по сравнению с акселерометрическим (пьезонетрическим) методом [8].

В нашей работе динамические нагрузки определялись как аналитически, так и экспериментально. Исходя из приведенных выше соображений, при экспериментальном исследовании динамических нагрузок в зацеплении мы пользовались двумя методами тензометрическим и торсиографическим, последний метод в основном использовался для оценки достоверности данных, полученных аналитическим методом.

Следует отметить, что в нашей работе определение ряда параметров, для большей достоверности, проводилось не одним, а двумя - тремя методами. Это вызвано тем, что подобные параметры у разных авторов зачастую определялись разными методами и поэтому результаты этих работ трудно сравнивать.

Общий вид и кинематическая схема установки приведены на рис. 1.

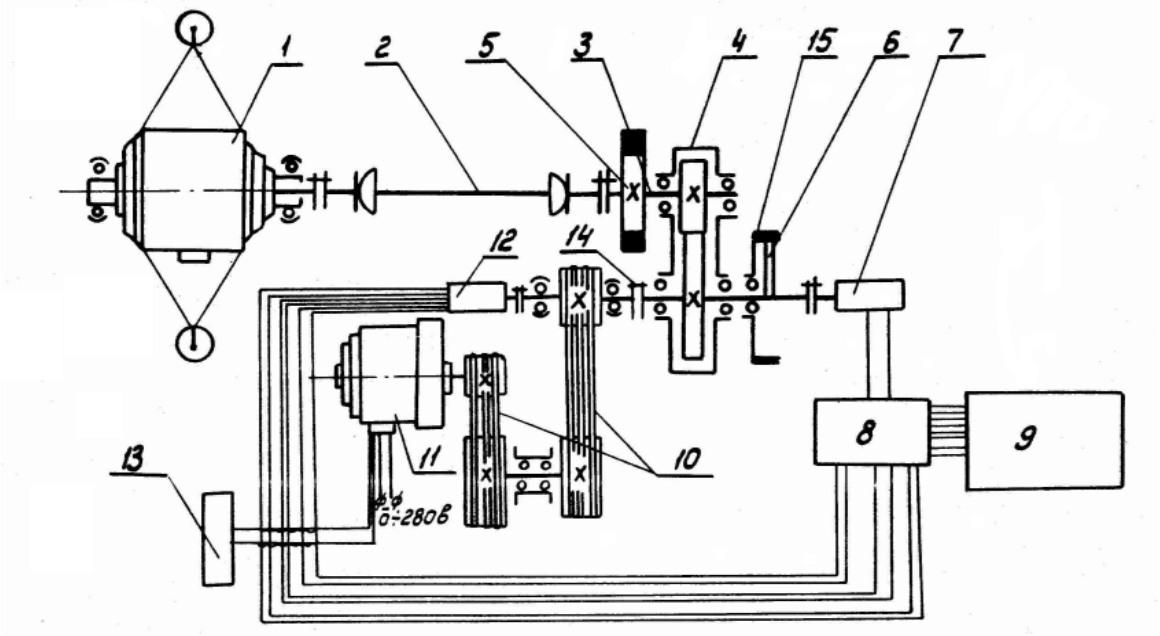


Рис. 1. Схема установка для измерения угловых перемещений зубчатых колес

Приводной двигатель 1 статор, которого подвешен на подшипниках качения в неподвижных опорах, соединен через карданный вал 2 с ведущим валом 3 испытуемого редуктора 4. На валу 3 установлен маховик 5, обеспечивающий постоянство угловой скорости на входе. Нагрузка в зубчатом зацеплении создается генератором постоянного тока с присоединенным к нему нагрузочным реостатом 13. Генератор связан с ведомым валом редуктора клиноременной передачей 10 и упругой муфтой 14. Величина нагрузки редуктора контролировалась по моменту на его ведущем валу, замеряемому по моменту статора, балансирно подвешенного электро-двигателя 1.

Маховик установлен на ведомом валу редуктора со стороны. противоположной той, где отводится поток мощности. Таким образом, можно считать (без учета трения в опорах и жесткости торсиографической пружины, величина которых незночительна), что амплитуда и

характер крутильных колебаний участка вала, совместно с элементом крепления одного из концов тензометрической пружины, закрепленной на этом валу, совпадает с амплитудой и характером крутильных колебаний самого колеса.

Роль тензометрического элемента выполняет плоская пружина 6, коленчато изогнутая для компенсации растягивающих усилий, возникающих при поворотах вала. Пружина связана одним концом с ободом маховика, другим с валом, причем пружина ведет маховик, свободно насаженный на ведущем валу редуктора с помощью подшипников качения. Маховик 15 датчика при достижении средней угловой скорости будет вращаться практически равномерно. Колебания колеса, возбуждаемые погрешностями зацепления, будут через валопровод передаваться на пружину. С целью более точного воспроизведения колебаний колеса пружиной, жесткость валопровода принята на два порядка выше жесткости пружины. Избыточные перемещения вала, а, следовательно, и колеса, измеряют по принципу торсиографа. На пружине наклеены тензодатчики, которые преобразуют механические колебания пружины в соответствующие электрические сигналы.

Упруго-инерционные параметры системы маховик-пружина подобраны таким образом, чтобы их собственная частота (f= 4,2 Гц) была во много раз ніже ожидаемых рабочих частот угловых колебаний колес, совпадающих с зубчатой частотой (f = 200-800гц). Это дает возможность производить запись исследуемого процесса практически без искажений.

Измерительная схема датчика угловых перемещений включает в себя: измерительный мост из проволочных тензодатчиков, ртутный токосъемник 7, тензометрический усилитель 8 типа ТА-5 и шлейфовый осциллограф Н-102, номер 9.

Торсиографический датчик позволяет фиксировать избыточные перемещения вала, на котором он закреплен с точностью ± 3 угловые секунды [7], что соответствует линейным перемещениям по делительной окружности испытуемых колес $\Delta = \pm 4{,}3$ мкм. Для возможности контроля аналитического определения динамических усилий торсиографическим методом, а также для определения функции передаточного отношения из графика избыточных перемещений, полученного с торсиографического датчика необходимо было провести тарировку датчика.

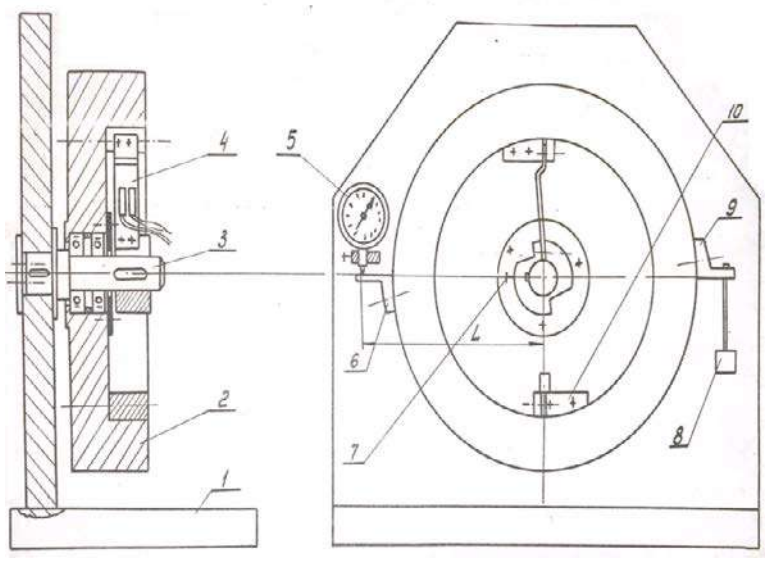


Рис. 2. Схема установки для тарировки торсографического датчика

Тарировка торсиографического датчика проводилась на специальном стенде рис.2, состоящем из оси 3, закрепленной неподвижно на станине 1. На ось монтируется маховик 2 и торсиографический датчик 4. Все элементы торсиографического датчика установлены без зазоров, имеющиеся зазоры ликвидируются с помощью болтов 7 и крепежных пластин. Перед присоединением пружины датчика, маховик с присоединенными к нему массами

крепежных элементов датчика и приспособлений для тарировки 6 и 9, проходил статическую балансировку. После этого пружина закреплясь зажимом на оси, а шпонка оси прижималась болтом 7. Подвешивая различные по величине грузы 8, обеспечиваем определенные углы закрутки маховика относительно оси. Сигнал, возникающий при разбалансировке тензометрического моста, записываем на пленку осциллографа. Действительные перемещения маховика устанавливались с помощью индикатора 5. Зная плечо L, определяем действительные углы закрутки. Углом закручивания оси при этом пренебрегаем в виду его малости, жесткость пружины на два порядка меньше жесткости оси. При тарировке использовался тот же вибратор осциллографа, что и при записи процесса колебаний колеса. Тарировку проводили по пять раз на каждой стадии измерения.

Заключение. Таким образом, была изучена модель установки для тарирования торсографического датчика и модель для измерения угловых перемещений зубчатых колес. Изучены способы исследования износа зубчатых колес, экспериментальной установка в машинах сельскохозяйственной промышленности.

Литература:

1. Ермичев В.А., Тихомиров П.В. Износ и трибоусгалосгь зубчатых колес // Состояние и перспективы развития дорожного комплекса. Сб. науч. трудов. Вып. Брянск: БГИТА, 2001.-16-18.
2. Курчаткин В. В Надежность и ремонт машин: учебник. - М.: Колос, 2000. - 776с.
3. Ермичев В.А., Тихомиров ILB. Моделщхжание процесса трения в открытых зубчатых передачах // Вклад ученых и специалистов в национальную экономику: Матер, регион, науч.-техн. конф., г.Брянск, 16-18 мая 2002 г. // Под ред. Е.Н. Самошкина, И.М. Барановой, АВ. Городкова и др.- Брянск: БГИТА, 2002.-С. 218-221.
4. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. Учебное пособие для ВУЗов, - М. Изд. центр "Академия", 2008. - 496 с.
5. Куклин Н.Г., Куклина Г.С. Детали машин. Учебник для ВУЗов, - М. «Высшая школа», 1973. - 384с
6. Дьяченко С.С. Материаловедение: учебник // С.С. Дьяченко, И.В. Дощечкина, А.А. Мовлян, Э.И. Плешаков. – Харьков : ХНАДУ, 2010. – 464 с.
7. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие // В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
8. Когаев В.П., Дроздов Ю.М. Прочность и износостойкость деталей машин. - Г.: Металлургия, 1972. - 192 с.

Studies of wear and vibration of gears in agricultural equipment

Popov A.M.[1,a], Mehdiyev R.V.O.[1,b]

[1]Kemerovo State University, 47 Stroiteley Boulevard, Kemerovo.
[b]mehdiev23@mail.ru

Keywords: Gears, wear, vibrations, agricultural machines, strain gauge method, accelerometric method, torsiographic method.

In this work, the influence of vibration forces, dynamic loads on the wear of gears, as well as the determination of the amplitude of wheel vibrations during operation was studied.

УДК 625.76.08

Обзор исследований процессов распределения твёрдого противогололёдного материала дисковым оборудованием

Садовникова Я.С.[1,a], Мандровский К.П.[1,b]

[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия
[a]jana.sadovnikova@yandex.ru, [b]effectmash@mail.ru

Ключевые слова: противогололёдный материал (ПГМ), частица ПГМ, диск, равномерность распределения.

В статье представлен обзор работ, посвященных процессу распределения частиц твёрдых противогололёдных материалов центробежным дисковым оборудованием. Приведены основные направления исследований, такие, как обоснование выбора размеров и типа высевной щели распределителя, изучение формы лопаток, диаметра диска и их влияния на равномерность распределения противогололёдных материалов, исследование влияния характеристик противогололёдных материалов на процессы распределения по покрытию. Анализ представленных в обзоре известных исследований позволяет отметить, что пока не создано единой математической базы, на основании которой был бы возможен автоматизированный выбор и определение параметров распределительного оборудования дорожных машин (в том числе малогабаритных), а также их оперативная коррекция в реальных условиях противогололёдной обработки (с учетом метеорологических факторов).

Введение. Зимнее содержание дорог связано с большими объемами работ, высокой трудоёмкостью и необходимостью выполнения работ в сжатые сроки. Поэтому усовершенствование методов содержания покрытий автомобильных дорог является одной из приоритетных задач. Важными задачами при зимнем содержании дорог являются борьба с образованием гололёда на покрытии и предотвращение льдообразования.

Широкое применение приобрела технология обработки дорожных покрытий химическими реагентами – солями (хлоридами натрия, кальция, калия).

Применение солей при противогололёдной обработке дорог имеет преимущества перед посыпкой песком или другими материалами, которые заключаются в большей эффективности использования, экологичности, меньшем расходовании противогололёдных материалов (ПГМ) и сокращении объёмов работ по их заготовке.

Распределение на дорожном покрытии солей осуществляется специальными машинами – солеразбрасывателями (рис.1). Эти машины имеют оригинальное оборудование, смонтированное на шасси грузового автомобиля или на прицепе к тягачу. Разбрасыватели состоят из бункера для перевозки противогололедного материала, разбрасывающего диска и питателя, который подает материал из бункера на распределительный диск.

Основными требованиями, предъявляемые к солеразбрасывателям, оказывающими влияние на качество обработки дорожного покрытия, являются: точное дозирование соли с учетом технологии обработки и равномерность её распределения по площади дорожного покрытия.

Обработка ПГМ дорожных покрытий осуществляется периодически, в зависимости от погодных условий.

Рис. 1. Распределитель противогололёдных материалов

Дисковые распределители отличаются простотой конструкции, низкой стоимостью изготовления оборудования, надежностью в эксплуатации. Они имеют ряд конструктивных особенностей, обуславливающих их высокую производительность. Ряд конструкций машин для распределения ПГМ имеет два разбрасывающих диска (рис. 2).

Рис. 2. Распределитель противогололёдных материалов с двумя распределительными дисками

Распределительные диска разбрасывателей отличаются большим разнообразием конструктивных параметров, таких как диаметр, количество лопаток, их форма и ориентация на диске.

Для выбора и разработки наиболее эффективных конструкций распределительного оборудования необходимо наличие теоретических изысканий, посвящённых влиянию конструктивных и эксплуатационных факторов на качество распределения ПГМ по покрытиям. Данная статья посвящена анализу имеющихся наработок, посвященных этому вопросу.

Развитие теории центробежных дисковых распределителей противогололёдных материалов.

Математической базой для теоретических исследований центробежных дисковых распределителей ПГМ является работа П.М. Василенко [1], в которой сформулированы четыре класса задач по расчёту движения твёрдой частицы по шероховатым поверхностям. К ним относятся задачи определения:

1) кинематических характеристик твёрдой частицы, движущейся по идеально гладкой горизонтальной плоской поверхности, вращающейся с постоянной угловой скоростью вокруг неподвижной вертикальной оси;

2) относительной траектории твёрдой частицы, движущейся с постоянной скоростью по направлению от центра по горизонтальной плоскости, которая вращается вокруг неподвижной вертикальной оси с постоянной угловой скоростью;

3) уравнения движения твёрдой частицы, перемещающейся в трубке, которая вращается в горизонтальной плоскости с постоянной угловой скоростью вокруг неподвижной вертикальной оси;

4) уравнения движения твёрдой частицы, вынужденной оставаться на идеально гладкой наклонной плоскости, которая вращается вокруг неподвижной вертикальной оси с постоянной угловой скоростью.

П.М. Василенко изложена методика составления и решения дифференциальных уравнений движения твёрдой частицы вдоль лопатки прямой и криволинейной формы, закреплённой на поверхности вращающегося с постоянной скоростью дискового оборудования с учётом силы трения [1]. Движение частицы по диску рассматривалось под действием силы веса, центробежной силы инерции, силы трения о поверхность диска, силы Кориолиса, силы трения частицы о поверхность лопатки в проекции на оси, направленные параллельно и перпендикулярно плоскости лопатки.

Развитие эта работа получила в трудах Г.Л. Карабана [2, 3], посвящённых решению дифференциального уравнения движения частицы по радиально расположенным лопаткам распределительного диска при наличии силы трения. При этом учтены силы сопротивления воздуха. Проекции этой силы на координатные оси при этом считались пропорциональными квадратам соответствующих проекций скоростей, и для этих условий было дано решение дифференциальных уравнений. Движение частиц в воздухе Г.Л. Карабаном предложено описывать при помощи системы уравнений:

$$\begin{cases} x = \frac{1}{K_1} ln K_1 v (t + \frac{1}{K_1 v}) \\ y = \frac{1}{K_1} ln \frac{e^{t\sqrt{gK_1}} + e^{t-\sqrt{g\,K_1}}}{2}, \end{cases}$$

где $K_1 = \frac{cF\rho}{2m}$; c – коэффициент сопротивления движению частицы в воздухе; F – площадь проекции частицы на плоскость, нормальную к направлению движения частицы, м^2; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; v – начальная скорость движения частицы, м/с; m – масса частицы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; x – координата частицы, характеризующая дальность полёта в воздухе относительно горизонтальной оси, м; y – координата частицы, характеризующая продолжительность полета частицы в вертикальной плоскости, м.

Теорию рабочих процессов распределения ПГМ развил В.П. Сорока [4].

В работе [4] анализируется процесс распределения материала дисковым разбрасывателем, исследовалась возможность обеспечения равномерности, выявляются факторы, влияющие на равномерность, в частности, число, высота и форма лопаток диска, геометрические параметры диска.

В.П. Сорока составил и привёл решение уравнения движения частицы ПГМ по лопатке без учета движения частиц по диску. В работе описано движение частиц в воздушной среде, рассмотренное с учетом силы сопротивления воздуха, пропорциональной квадрату скорости. При этом отмечено, что на точность дозирования материала скребкового конвейера распределителя главным образом влияют: размер выходного отверстия в стенке кузова, конструкция скребков и сыпучесть используемого материала. В.П. Сорока утверждал, что при расположении края отверстия выхода материала ближе 60…70 мм от центра диска часть материала не успевает разгружаться в пределах угла, ограниченного деталями конструкции машины и, отражаясь от них, падает вблизи продольной оси машины. В работе [4] было установлено, что явление удара частиц о поверхность лопатки не играет существенной роли до тех пор, пока скорость встречи частиц ПГМ с лопаткой не превышает 8 м/с. В противном случае наблюдается отскакивание заметного количества частиц от лопаток. Скорости, приобретаемые частицами после удара, ниже скорости частиц сходящих с конца лопаток, поэтому частицы, отскочившие от поверхности лопаток, выпадают на близких расстояниях от диска. Поэтому максимальное удаление места подачи материала от центра диска ограничено допустимой скоростью встречи частиц с лопаткой, которая не должна превышать 8 м/с.

При этом в работе не было уделено внимание изучению движения частиц в разбрасывающем устройстве.

Дальнейшие исследования в этой сфере относятся к решению частных задач: обоснование выбора размеров и типа высевной щели распределителя [5]; изучение формы лопаток, диаметра диска и их влияния на равномерность распределения ПГМ [6,7]; исследование влияния характеристик противогололёдных материалов на процессы распределения частиц по покрытию [8].

Отдельно следует указать на результаты исследования, полученные В.А. Пенчуком. Теория В.А. Пенчука базируется на том, что частица противогололёдного материала слетает с диска со скоростью υ, вектор которой направлен под углом α к горизонтали (рис. 3) [9, 10].

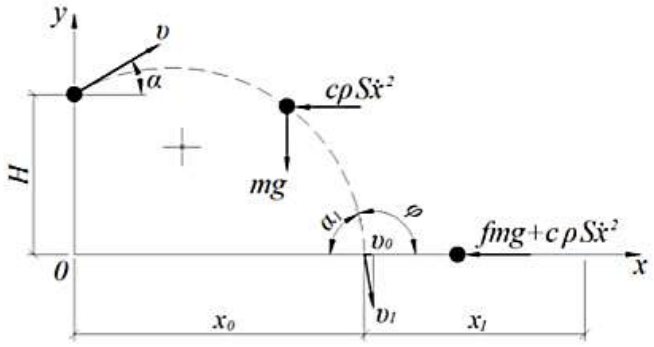


Рис.3. Схема движения частицы сыпучего материала с момента слета с вращающегося диска до остановки в точке x_1 на посыпаемой поверхности:
υ – скорость слета частицы с диска, м/с; H – высота слета частицы над поверхностью дороги, м; g – ускорение свободного падения, м/с² [9]

Уравнения движения частицы с учетом принятой системы координат запишутся в виде:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -c\rho S\dot{x}^2, \\ m\ddot{y} = -mg \end{cases}$$

где m – масса частицы сыпучего материала, кг; ρ – плотность воздушной среды, кг/м^3; S – площадь поперечного сечения частицы, м^2; с – коэффициент лобового сопротивления; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\ddot{x}$, $\ddot{y}$ – ускорение частицы по осям x, y, соответственно, м/с^2; $\dot{x}$ – скорость частицы в проекции на ось x, м/с [9].

Лобовое сопротивление – это сила, с которой воздух действует на движущуюся в нём частицу. Эта сила направлена всегда в сторону, противоположную скорости, и является одной из составляющих аэродинамической силы.

Решение уравнения имеет вид [9]:

$$x = \frac{m}{c\rho S}\ln\left(1 + \frac{c\rho S v \cdot cos\alpha}{m}t\right),$$

$$y = H + vtsin \propto -\frac{gt^2}{2}.$$

При *y*=0 частица соприкасается с поверхностью покрытия.

Время полета частицы равно:

$$t_0 = \frac{v \cdot sin \propto}{g} + \sqrt{(\frac{v \cdot sin \propto}{g})^2 + \frac{2H}{g}}$$

Вертикальная координата частицы ПГМ определяется как:

$$y(x) = H - \frac{g}{2}(\frac{m}{c\rho Sv \cdot cos\alpha})^2 \cdot (e^{c\rho Sx/m} - 1)^2 + \frac{m \cdot tg\alpha}{c\rho S}(e^{c\rho Sx/m} - 1).$$

Если в момент касания с поверхностью дороги горизонтальная составляющая скорости частицы ПГМ не равна нулю, то в дальнейшем она может продолжить движение,

скользя по поверхности дороги. Уравнение движения частицы сыпучего материала во время скольжения по поверхности дороги имеет вид:

$$m\ddot{x} = -c\rho S(\dot{x})^2 - fmg,$$

где f – коэффициент трения скольжения частицы по поверхности дороги [9].

Впервые В.А. Пенчуком рассмотрено влияние угла наклона диска относительно горизонта на такие параметры процесса распределения твёрдых частиц как высота и дальность полёта. Угол наклона к поверхности покрытия возникает в том случае, когда пескоразбрасывающая машина движется по дороге, имеющей продольный или поперечный уклон. Установлено, что угол наклона диска пескоразбрасывателя к горизонтали не оказывает существенного влияние на дальность распределения частиц, но меняет характер их движения. Например, при угле наклона диска более 20^0 в продольной или поперечной плоскости высота разлёта частиц ПГМ более, чем в 2 раза превышает высоту установки диска над поверхностью дороги, что может оказать негативное воздействие на объекты в зоне обработки [9, 10].

Вместе с тем справедливо отметить, что пока не создано единой математической базы, на основании которой был бы возможен автоматизированный выбор и определение параметров распределительного оборудования дорожных машин (в том числе малогабаритных), а также их коррекция в реальных условиях противогололёдной обработки (с учетом метеорологических факторов).

Результаты и обсуждение. Представленный обзор работ по изучению процесса распределения твёрдого ПГМ по покрытию базируется на исследованиях, относящихся к сельскохозяйственным процессам разбрасывания материалов.

Основой математической базой для исследований распределения ПГМ являются работы Г.Л. Карабана.

Нет единой теории, посвященной понятию равномерности распределения частиц ПГМ по зоне обработки, и влиянию эксплуатационных и конструктивных факторов на характеристики равномерности при различных метеорологических условиях. На данный момент характеристики равномерности оцениваются по результатам испытаний машин [11].

В качестве нового подхода к решению проблемы повышения равномерности и качества распределения ПГМ можно отнести работы по изучению симметричного способа подачи ПГМ на диск, обосновывающие его преимущества по сравнению с традиционным несимметричным способом подачи [12,13].

Выводы. Проведен обзор теоретических исследований, цель которых состоит в изучении процесса распределения частиц твёрдых ПГМ центробежным дисковым оборудованием. Выявлены основополагающие работы П.М. Василенко и Г.Л. Карабана, на которых базируются дальнейшие теоретические изыскания в сфере проектирования и эксплуатации дорожных машин для противогололёдной обработки. Установлено, что дальнейшие исследования в этой сфере относятся к решению частных задач, таких, как обоснование выбора геометрических параметров и типа высевной щели распределителя; изучение формы лопаток, диаметра диска и выявление их воздействия на равномерность распределения ПГМ; исследование влияния характеристик противогололёдных материалов на процессы распределения частиц по покрытию. Все вышеперечисленные работы ориентированы на традиционно принятый несимметричный способ подачи ПГМ на поверхность диска, при котором ПГМ поступает из желоба только на одну область диска. В качестве нового подхода к решению проблемы повышения качества распределения ПГМ можно отнести симметричный способ подачи ПГМ на диск, при котором ПГМ будет одновременно поступать на каждый сектор диска, ограниченный двумя соседними лопатками. Представлены работы, обосновывающие преимущества данного способа по сравнению с традиционным несимметричным способом подачи.

В ходе обзора установлено, что нет единой теории, посвященной понятию равномерности распределения частиц ПГМ по зоне обработки, и влиянию эксплуатационных

и конструктивных факторов на характеристики равномерности при различных метеорологических условиях.

Литература:

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1960. 283 с.

2. Карабан Г. Л., Ратинов В. Б. Борьба со снежно-ледяными образованиями на дорогах с помощью химических реагентов. М.: Стройиздат, 1976. 80 с.

3. Карабан Г. Л., Баловнев В. И., Засов И. А. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов. Конструкция и основы расчета. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 367 с.

4. Сорока В.П. Исследование и выбор параметров центробежного дорожного разбрасывателя: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1968. 188 с.

5. Лошкарев Д.С., Земдиханов М.М., Сахапов Р.Л. Исследование равномерности рассеивания противогололедных реагентов в зависимости от формы сечения потока материала // Техника и технология транспорта. 2018. № 2 (7). С. 3.

6. Бурдин А.А., Сахапов Р.Л., Земдиханов М.М. Исследование влияния формы поперечного сечения лопаток и диаметра разбрасывающего диска на равномерность рассеивания противогололедных материалов по поверхности дорожного покрытия // Техника и технология транспорта. 2019. № 1 (10). С. 2.

7. Rußwurm F., Osinenko P., Streif S. Optimal control of centrifugal spreader // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53. No. 2. Pp. 15841-15846.

8. Пенчук В.А., Диденко А.В. Влияние вида сыпучего материала на процессы его распределения пескоразбрасывателем по поверхностям дорог // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция. Сибирский федеральный университет; ред. В. В. Минин. 2016. С. 104-110.

9. Пенчук В.А., Клен А.Н., Диденко А.В. Влияние условий эксплуатации пескоразбрасывателя на процессы распределения противогололедных материалов // Теорія і практика будівництва. 2013. № 11. С. 52-54.

10. Пенчук В.А., Савенко Э.С., Грицук И.В. Закономерности распределения противогололедных материалов метательным диском // Вестник ДонГАСА. Вып. 5(47). Технология, организация и геодезическое обеспечение строительства. Макеевка: ДонГАСА, 2004. С. 82 - 87.

11. Методика проведения технического контроля и испытаний передних снегоочистительных отвалов и распределителей твердых противогололедных материалов комбинированных дорожных машин / Г.В. Кустарев, В.П. Яшин, В.Е. Онегин, Г.М. Белоцерковский. М., 2010. 8 с.

12. Садовникова Я.С. Дисковый распределитель противогололёдных материалов с симметричным способом подачи: обоснование преимуществ и эффективности // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. 2022. С. 284-289.

13. Мандровский К.П., Садовникова Я.С. Программа построения зоны распределения твёрдого противогололёдного материала при симметричном способе подачи материала на диск. Свид. о регистрации программы для ЭВМ 2021613272, 04.03.2021. Заявка № 2021612521 от 04.03.2021.

Review of research processes of distribution of solid anti-ice material by disc equipment

Sadovnikova Y.S.[1,a], Mandrovskiy K.P.[1,b]

[1,]Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia
[a]jana.sadovnikova@yandex.ru, [b]effectmash@mail.ru

Keywords: anti-icing material (AM), AM particle, disk, distribution uniformity.

The article presents an overview of the works devoted to the process of distributing particles of solid anti-icing materials by centrifugal disk equipment. The main areas of research are given, such as the rationale for choosing the size and type of the seeding gap of the distributor, the study of the shape of the blades, the diameter of the disk and their influence on the uniformity of the distribution of anti-icing materials, the study of the influence of the characteristics of anti-icing materials on the distribution processes over the coating. An analysis of the well-known studies presented in the review will allow us to note that a unified mathematical base has not yet been created, on the basis of which it would be possible to automatically select and determine the parameters of the distribution equipment of road machines (including small ones), as well as their operational correction in real conditions of anti-icing treatment (taking into account meteorological factors).

УДК 629.1.07

Определение устойчивости модифицируемой уборочной техники для содержания приаэродромных территорий

Павлов С.А.[1,a], Цветков М.С.[1,b]

[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский проспект 64, Москва, Россия
[a]dorstroimash@yandex.ru , [b]cmax2000@mail.ru ,

Ключевые слова: устойчивость, приаэродромная территория, модификация, уборочная техника, трёхколёсная база.

В статье раскрыты проблемы устойчивости подметально-уборочных машин на трехколесной базе, которые можно применять в ограниченных условиях на загруженных приаэродромных территориях. Исследован возможный путь решения проблемы манёвренности уборочной техники с модификацией базы из четырехколесной в трехколесною. В статье приведен проект применения рабочего комплекса из подметально-уборочных машин для содержания приаэродромных площадей. Трёхколёсные базы перед четырёхколёсными также обладают преимуществом, которое заключается в возможности формирования автопоезда из нескольких машин. В ходе исследования рассчитаны угол опрокидывания и критические скорости проектируемой подметально-уборочной техники на трехколесной базе для проверки устойчивости. Проанализировано предложенное решение с точки зрения работоспособности машины. Использование такого типа уборочной техники увеличивает манёвренность, что в условиях ограниченного пространства в постоянно загруженных аэропортах облегчает ряд работ по содержанию приаэродромных территорий.

В настоящее время во всём мире объём авиаперевозок стремительно растёт. Одновременно увеличивается и нагрузка на приаэродромные территории. Стоянки для автотранспорта пассажиров, посетителей и сотрудников аэропорта становятся многоуровневыми и постоянно загруженными машинами.

Для поддержания чистоты и эксплуатационной годности приаэродромных площадей используют различную технику, например: подметально-уборочные машины, поливомоечные машины и маркировщики [1]. Вся перечисленная техника обычно имеет четырехколёсную базу, что является определенным недостатком, поскольку значительно

снижается манёвренность транспортных средств в условиях ограниченного пространства. Одним из способов увеличения маневренности техники может послужить использование трехколёсного шасси. За счёт такой конструкции машины имеют меньший радиус поворота, по сравнению с четырехколесным шасси, что в стеснённых условиях загруженного аэропорта значительно облегчает работы по содержанию приаэродромных территорий [2].

Трёхколёсные машины перед четырёхколёсным автотранспортом также обладают преимуществом, которое заключается в возможности формирования автопоезда из нескольких машин, которые можно связать в комплекс, выполняющий несколько операций одновременно. Например, использование подметально-уборочной машины совместно с поливомоечной машиной. Перевод машин в комплекс осуществляется при помощи сцепного устройства и подъёма передней стойки колёс буксируемого транспортного средства в транспортное положение (рис. 1).

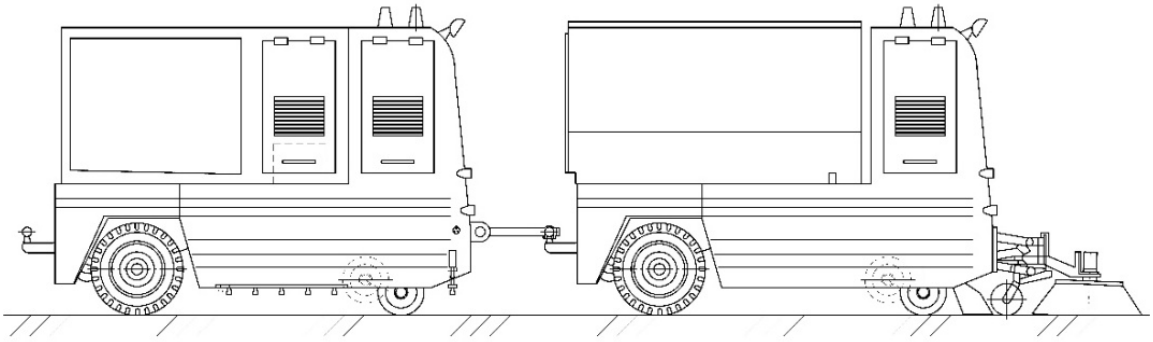


Рис. 1. Схема работы в комплексе

Чтобы иметь полное представление об устойчивости машин, имеющих трёхколёсную базу, выполним соответствующие расчёты, определив предельные углы поверхности и значения скоростей движения.

Определение угла опрокидывания проектируемой трехколесной ПУМ

Перемещение и стационарная позиция трёхколёсной ПУМ на поперечном уклоне без потери устойчивости определяется из условия, которое справедливо для всей колесной техники (рис. 2) [3, 4]:

$$G sin\beta \le \varphi_y G cos\beta,\ tg\beta \le \varphi_y, \quad (1)$$

где: G – общий вес ПУМ; β – угол уклона опорной поверхности; φ_y – коэффициент поперечного сцепления протектора шин с покрытием.

Главное отличие трёхколёсного шасси от четырёхколёсного – ось потери устойчивости машины располагается в центре пятна контакта переднего колеса и одного из колес заднего моста [2]. Для того чтобы предотвратить потерю устойчивости подметально-уборочной машины с трёхколёсным шасси необходимо соблюсти следующее условие:

$$tg\beta_0 \le \frac{a\sin\alpha + \left(\Delta - \frac{G^n}{G}\lambda h_\lambda\right) tg\alpha}{h}, \quad (2)$$

где: $a\sin\alpha$ – плечо приложения нормальной составляющей силы тяжести к опорной поверхности; Δ – смещение равнодействующей силы нормальной реакции поверхности, формируемое упругой пластичностью шин; G^n – вес подрессоренной части ПУМ; G – полный вес машины; λ – угол наклона ПУМ за счет подрессоренной массы; h_λ – плечо от центра массы ПУМ до точки приложения подрессоренной массы; a – расстояние от центра масс машины до передней колеса; α – угол, образованный осью симметрии и осью опрокидывания ПУМ; h – высота расположения центра масс машины.

$$tg\beta_0 \le \frac{1{,}07 * \sin 15{,}11° + \left(0{,}01 - \frac{9810}{24525} * 0{,}035 * 0{,}45\right) tg 15{,}11°}{0{,}6},$$

$$tg\beta_0 \le 0{,}622,$$

$$\beta_0 \leq 31{,}88°.$$

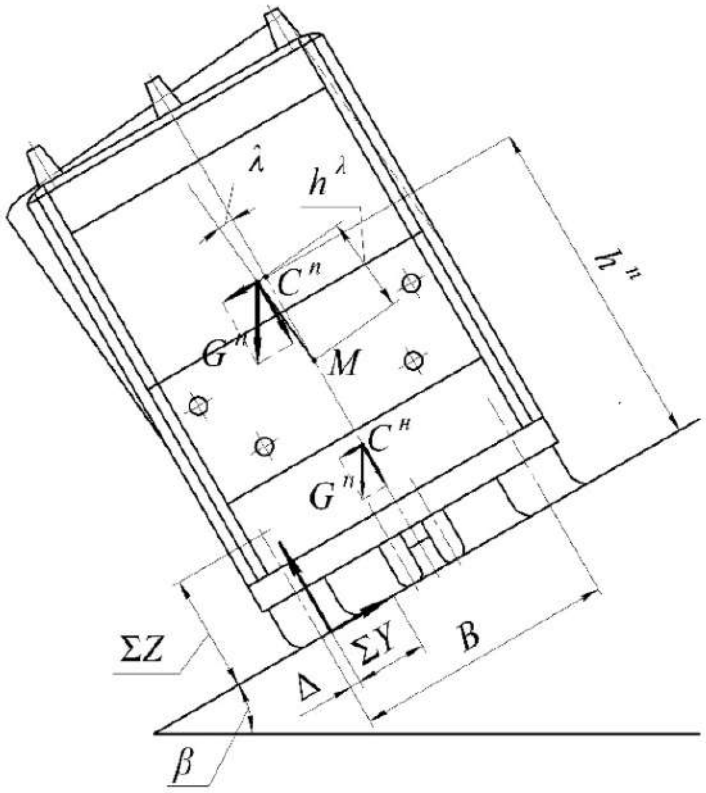


Рис. 2. Определение максимального угла потери устойчивости ПУМ

Определение критической скорости движения для трёхколёсной ПУМ

В случае бокового смещения при движении ПУМ центр поворота смещается в точку О’ (рис. 3) [3]. Из общих законов физики движения тел, учитывая центробежную силу инерции, ее поперечная и продольная составляющие будут равны:

$$F_x = F \sin\gamma = \frac{mV^2 \operatorname{tg}\gamma}{R} = F_y \operatorname{tg}\gamma, \quad (3)$$

где F_x – продольная составляющая центробежной силы; F – центробежная сила; γ – угол между равнодействующей центробежной силы и поперечной составляющей; m – масса машины; V – скорость движения ПУМ; R – радиус поворота; F_y – поперечная составляющая центробежной силы инерции машины.

Соблюдение устойчивости при боковом скольжении ПУМ определим по выражению [4]:

$$F_y \leq (Y_1 \cos\theta + Y_2) = \varphi_y (Z_1 \cos\theta + Z_2), \quad (4)$$

где: Y_1, Y_2, Z_1, Z_2 –реакции опорной поверхности, соответственно боковые и нормальные, возникающие при воздействии передних и задних колёс; φ_y – коэффициент поперечного сцепления протектора шин с поверхностью.

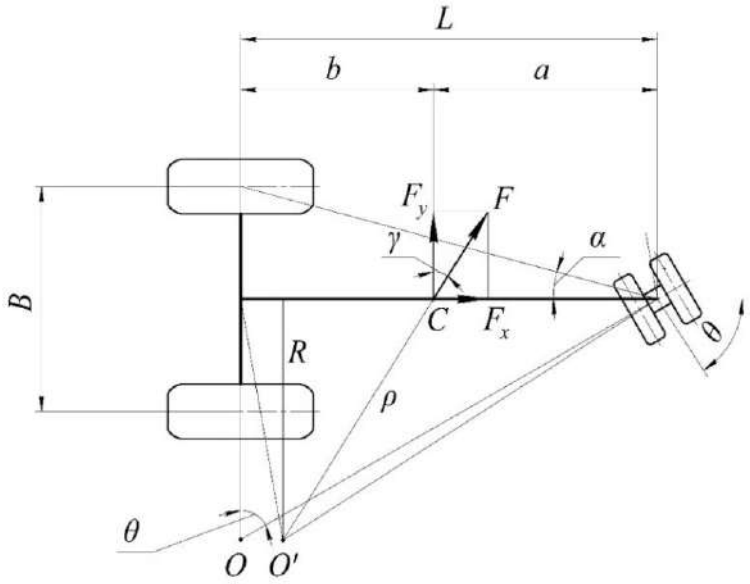


Рис. 3. Схема сил, действующих при повороте трехколесной ПУМ

При подстановке значений нормальных реакций и поперечной составляющей центробежной силы (6) в выражение (8), станет возможным определение критической скорости заноса:

$$V_3 = \sqrt{\frac{\varphi_y g R(a+b\cos\theta)}{L}}, \quad (5)$$

где: g – ускорение свободного падения; a, b – расстояние от центра масс машины до осей переднего и задних колёс; θ – угол поворота управляемого колеса; L – длина базы ПУМ.

$$V_3 = \sqrt{\frac{0{,}558*9{,}81*2{,}05*(1{,}03+0{,}97\cos 60°)}{2}} = 2{,}93 \text{ м/с} = 10{,}56 \text{ км/ч}.$$

Рассмотрим опрокидывание ПУМ при повороте. Плечо силы тяжести до оси опрокидывания будет равно произведению a $\sin\alpha$, где α – можно найти из равенства $\text{tg}\,\alpha = \frac{B}{2L}$. Значения B и L будут соответствовать длине колеи и базы ПУМ.

Для определения поперечной составляющей центробежной силы инерции – F_{yo} относительно оси опрокидывания машины, воспользуемся условием:

$$F_{yo} = F\cos(\alpha-\gamma) = \frac{mV^2}{R\cos\gamma}\cos(\alpha-\gamma). \quad (6)$$

В начальный момент опрокидывания нормальная реакция на заднем внутреннем колесе отсутствует и, таким образом, условие устойчивости запишем в виде:

$$F_{yo}h = Ga\sin\alpha. \quad (7)$$

Тогда критическая скорость движения будет равна:

$$V_0 = \sqrt{\frac{agR\sin\alpha\cos\gamma}{h\cos(\alpha-\gamma)}}, \quad (8)$$

где h - высота центра масс; γ – угол между равнодействующей центробежной силы и поперечной составляющей.

Этот угол найдем через тригонометрическую функцию:

$$tg\,\gamma = \frac{b-R\,tg\,\delta_2}{R}. \quad (9)$$

Данным углом, исходя из его минимального значения, можно пренебречь, тогда:

$$V_0 = \sqrt{\frac{agR\,tg\alpha}{h}}. \quad (10)$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{1{,}07*9{,}81*2{,}05* tg15{,}11^\circ}{0{,}6}} = 3{,}11 \text{ м/с} = 11{,}2 \text{ км/ч}.$$

Для работы машины без опрокидывания и заносов должно выполняться условие:

$$V_3 < V_0,$$

$$10{,}56 \text{ км/ч} < 11{,}2 \text{ км/ч}.$$

Данное условие выполняется, что подтверждает устойчивость трехколесной машины.

На основании приведённых расчётов устойчивости машины с трёхколёсной базой, можно сделать вывод о работоспособности предложенных модификаций уборочной техники. Использование такого типа уборочной техники увеличивает манёвренность, что в условиях ограниченного пространства в постоянно загруженных аэропортах облегчает ряд работ по содержанию приаэродромных территорий.

Литература:

1. Павлов С.А., Погонина А.М. Техника и технология содержания аэродромов в зимний период: Учеб. пособие. М.: МАДИ, 2021. – 246 с.

2. Мамити, Г.И. Устойчивость колесного трактора и автомобиля: монография / Г.И. Мамити, С.Х. Плиев. – Владикавказ: ООО НПКП «Мавр», 2013. – 152 с

3. Мамити, Г.И. Устойчивость двухосной колесной машины: монография / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев, В. Б. Тедеев. – Владикавказ, изд-во ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», 2016. – 184с.

4. Опейко, С.Ф. Математическая модель для оценки динамической устойчивости трехколесного самохода / С.Ф. Опейко Автотракторостроение. Теория и конструирование. Вып. 18. – Минск: Высшая школа. – 1983.

Determination of the stability of modified harvesting equipment for the maintenance of near-terminal areas

Pavlov S.A[1,a], Tsvetkov M.S.[1,b]

[1]Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), 64 Leningradskiy prospect, Moscow, Russia
[a]dorstroimash@yandex.ru , [b]cmax2000@mail.ru ,

Keywords: sustainability, near-terminal areas, modification, cleaning technique, tricycle base.

The article reveals the problems of stability of sweepers on a three-wheel base, which can be used in limited conditions in busy airport areas. A possible way to solve the problem of maneuverability of cleaning technique with the modification of their four-wheeled base into a three-wheeled one has been investigated. The article presents a project for the use of a working complex of sweepers for the maintenance of near-terminal areas. Three-wheeled bases over four-wheeled ones also have the advantage of being able to form a road train of several vehicles. In the course of the study, the tipping angle and critical speeds of the designed sweeping and cleaning technique on a three-wheel base were calculated to test stability. The proposed solution is analyzed from the point of view of machine performance. The use of this type of cleaning technique increases maneuverability, which, in conditions of limited space at constantly busy airports, facilitates a number of works on the maintenance of near-terminal areas.

УДК 621.43.056

Регулирование скорости сгорания топливо-воздушной смеси в бензиновых двигателях повышенной степени сжатия

Лежиков С.В.[1, a], Мальчиков С.В.[1, b]

[1]Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, ул. Киренского 26, г. Красноярск, Россия
[a]slezhikov-ft18@stud.sfu-kras.ru, [b]smalchikov@sfu-kras.ru

Ключевые слова: степень сжатия, детонационное сгорание, камера сгорания, впрыск, двигатель внутреннего сгорания.

В статье раскрыт метод впрыска топлива в камеру сгорания бензинового двигателя, основанный, на осуществлении многократном впрыска топлива в процессе одного рабочего такта в камеру сгорания двигателя с искровым зажиганием. Отличающийся тем, что позволяет избавиться от явления детонация при повышении степени сжатия двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием за счёт подачи топлива в камеру сгорания n порциями, первая из которых подаётся до момента искрообразования, следующая, или следующие должны быть синхронизированы со скоростью распространения фронта пламени и подаваться в момент, когда предыдущая порция топлива практически сгорела для предотвращения возможности прохождения предпламенных реакций в приготовленной заранее топливо-воздушной смеси на периферии камеры сгорания.

В мировом двигателестроении в последнее время идёт тенденция в увеличении степени сжатия. Потому что это самый простой способ увеличения мощности, экономичности и экологичности двигателя. Зачастую это ещё и уменьшение габаритов самого мотора, следовательно снижение затрат на производство силовых агрегатов.

На данный момент времени в двигателях внутреннего сгорания, с искровым зажиганием имеющих высокую степень сжатия остро становится проблема детонационного горения топлива. Сейчас нет реальных действующих способов борьбы с этим опасным явлением.

Предлагается метод, благодаря которому можно избавиться от явления детонация при повышении степени сжатия.

Метод базируется на тех соображениях, что для подготовки топливно-воздушной смеси к детонации требуется определённое время, необходимое для нагрева топлива и прохождения в топливно-воздушной смеси (предпламенных) реакций.

Суть предлагаемого метода заключается в том, что топливо будет подаваться в камеру сгорания в момент поджога ТВС искрой (конец такта сжатия) несколькими порциями. Первая порция (например, 60%) заряда топливно-воздушной смеси подаётся в момент искрообразования (либо незадолго до его начала), следующая или следующие порции заряда ТВС должны быть синхронизированы со скоростью распространения фронта пламени и подаваться в момент, когда предыдущая порция топлива практически сгорела или немного раньше (для обеспечения возможности перемешивания с воздухом). Такая «синхронно-фронтальная» подача топлива должна обеспечивать плавное распространение фронта пламени без его срыва. Осуществление впрыска топлива форсункой, на различных режимах работы двигателя, представлено на рисунке 1.

Рис. 1. Осуществление впрыска топлива предлагаемым методом

Теоретически в таком случае у топлива не будет времени для того, чтобы произошли предпламенные реакции, а без протекания этих реакций невозможна детонация. Дополнительным плюсом, снижающим вероятность возникновения детонации, будет являться тот фактор, что в процессе испарения каждой следующей порции топлива общая температура процесса в камере сгорания будет незначительно снижаться. Иллюстрация осуществления впрыска топлива в камеру сгорания показана на рис. 2.

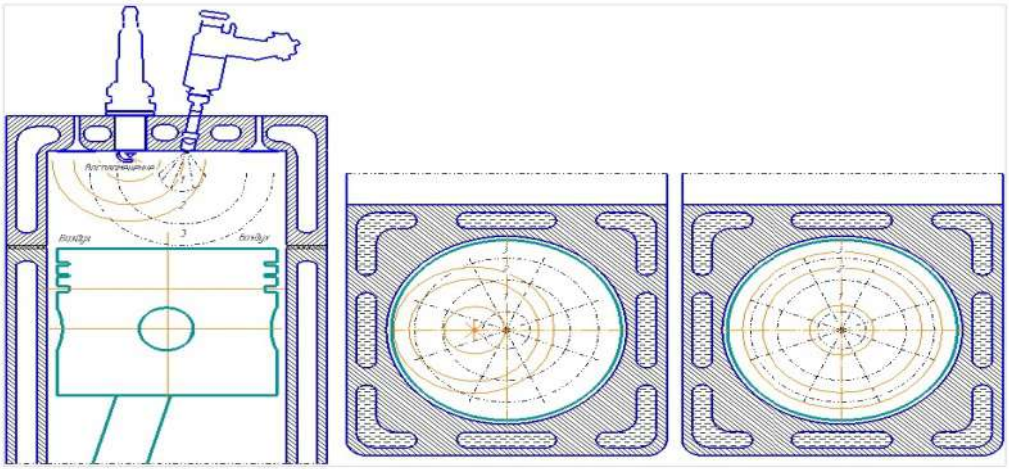


Рис. 2. Иллюстрация осуществления впрыска топлива

Электронная система, которая, теоретически сможет управлять таким впрыском – это современные системы непосредственного впрыска топлива, и система подачи топлива для дизельных двигателей «Common Rail».

В нашем случае необходимо адаптировать данную или подобную систему под двигатель с искровым зажиганием и прописать в блоке управления схему впрыска топлива (бензина), которая будет поддерживать скорость распространения фронта пламени в стандартных режимах, без “срыва” на детонацию. В программу электронного блока управления двигателем необходимо будет добавить параметры скорости распространения фронта пламени, необходимое количество топлива, которое будет впрыскиваться в камеру сгорания за цикл, и временные промежутки этого впрыска. Примерный адаптированный алгоритм впрыска можно видеть на рис. 3.

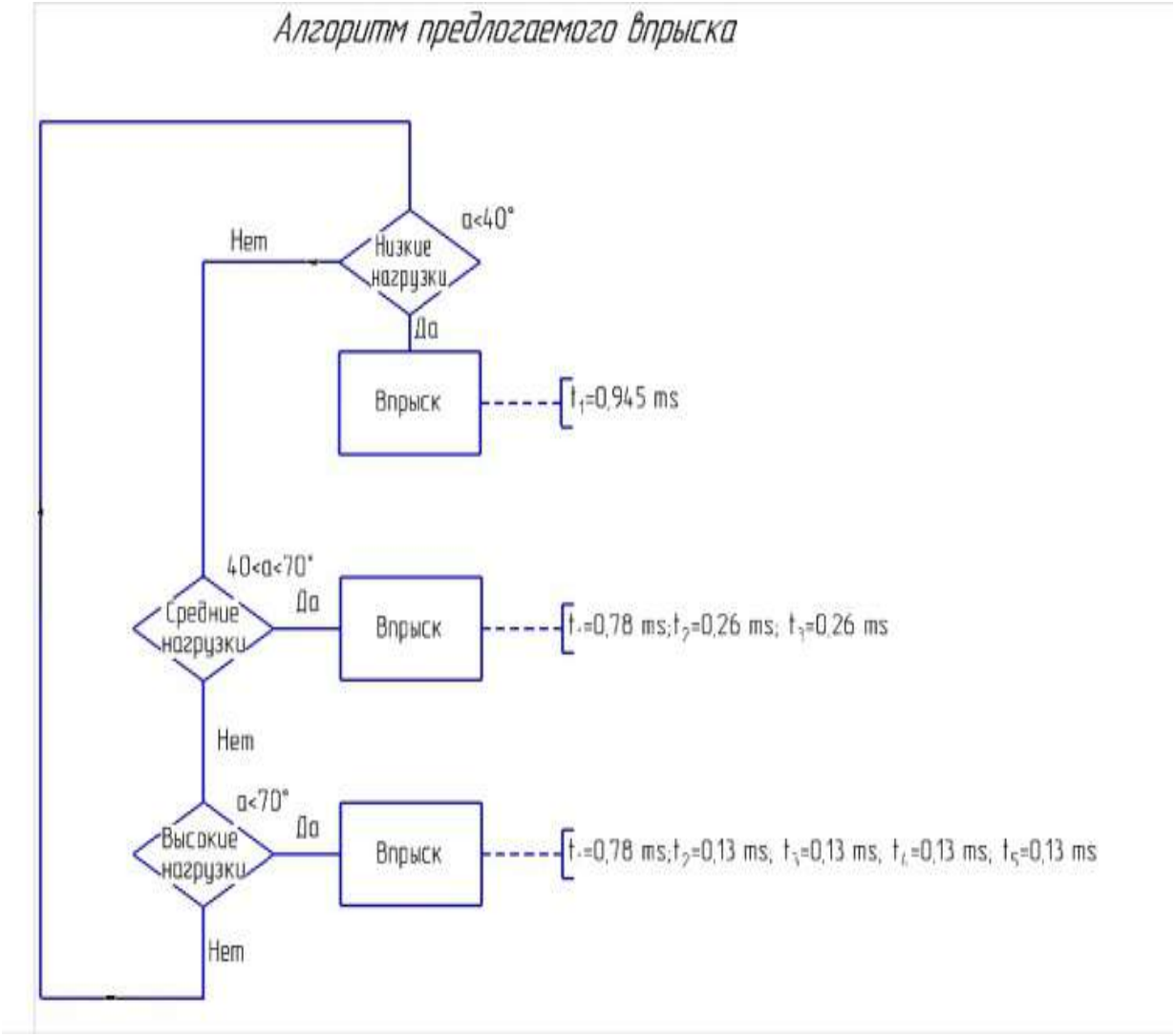


Рис. 3. Алгоритм впрыска топлива в зависимости от режима работы двигателя

Посредствам многослойного «синхронно-фронтального» впрыска и увеличения степени сжатия, в теории, получится увеличить коэффициент полезного действия двигателя с искровым зажиганием, повысить экономичность и экологичность. Также вследствие, повышения степени сжатия, при такой системе впрыска топлива, повысятся внешне-скоростные характеристики ДВС. Ввиду того, что размеры силового агрегата, также, уменьшатся – это приведёт к увеличению литровой мощности и удешевлению производства, за счёт снижения количества используемого материала, при конструировании.

Литература:

1. Информационно-поисковая система // Федеральный институт промышленной собственности : официальный сайт. – 2022. – URL: https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/.

2. Карауш, С.А. Расчет параметров процессов горения : учебное пособие / С.А. Карауш. – Томск : Изд-во том. гос. архит. – строит. ун-та, 2015. – 120 с.

3. Колчин, А. И., Демидов, В. П. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 400 с.

4. Кнауб, Л. В. Влияние предпламенных реакций на продолжительность индуктивного периода сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания / Л. В. Кнауб // Технічні науки, Scientific Journal «ScienceRise». – 2014. – №1. 52-58 с.

5. Сорокин, А. А., Мальчиков, С. В., Смоленков, Ф. Ю. Силовые агрегаты : учеб.-метод. пособие для выполнения курсовой работы / А. А. Сорокин, С. В. Мальчиков, Ф. Ю. Смоленков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. – 62 с.

Regulation of the combustion rate of the fuel-air mixture in gasoline engines of increased compression ratio

Lezhikov S.V.[1,a], Mal'chikov S.V.[1,b]

[1]Siberian Federal University, Polytechnic Institute, 26 Kirenskogo str., Krasnoyarsk, Russia
[a]slezhikov-ft18@stud.sfu-kras.ru, [b]smalchikov@sfu-kras.ru

Keywords: compression ratio, detonation combustion, combustion chamber, injection, internal combustion engine.

The article reveals the method of fuel injection into the combustion chamber of a gasoline engine, based on the implementation of multiple fuel injection during one working cycle into the combustion chamber of an engine with spark ignition. Characterized in that it allows you to get rid of the phenomenon of detonation with an increase in the compression ratio of internal combustion engines with spark ignition by feeding fuel into the combustion chamber in n portions, the first of which is fed until the moment of sparking, the next, or the next must be synchronized with the speed of propagation of the flame front and fed at the moment when the previous portion of fuel is almost burned to prevent the possibility of pre-flame reactions in a pre-prepared fuel-air mixture at the periphery of the combustion chamber.

УДК 621.436

Результаты определения смазывающей способности дизельного топлива, применяемого в ходе эксплуатации автомобилей КАМАЗ

Тетерин М.Ф.[1,a], Миронова О.В.[1,b], Салахутдинова Т.Г.[1,c]

[1]ПАО «КАМАЗ», Автозаводский проезд, 2, г. Набережные Челны, Россия
[a]Maksim.Teterin@kamaz.ru, [b]MironovaOV@kamaz.ru, [c]SalakhutdinovaTG@kamaz.ru

Ключевые слова: дизельное топливо, суррогатное топливо, смазывающая способность дизельного топлива.

В статье рассмотрена проблема суррогатного дизельного топлива, показано влияние смазывающей способности топлива на работоспособность и ресурс топливной аппаратуры автомобильного двигателя, получены результаты определения смазывающей способности дизельного топлива в ходе эксплуатации автомобилей КАМАЗ.

Введение. Качество транспортных услуг, предоставляемых автоперевозчиком, напрямую зависит от состояния его автопарка. Исправное состояние автомобилей является обязательным условием для выполнения перевозок точно по графику без задержек, а для пассажирских перевозок еще и гарантией безопасности пассажиров.

Одной из систем двигателя, определяющей его работоспособность, является система топливопитания, которая включает в себя топливный бак, трубопроводы, топливные насосы низкого и высокого давления, топливные фильтры и форсунки (инжекторы).

Современные автомобильные дизельные двигатели комплектуются топливной аппаратурой (ТА) типа Common Rail, позволяющей получать высокие удельно-эффективные характеристики двигателя, экологические показатели и топливную экономичность. Топливный насос высокого давления (ТНВД) и инжекторы очень чувствительны к качеству применяемого топлива. Поэтому необходимо, чтобы дизельное топливо (ДТ) имело стабильные эксплуатационные показатели, обеспечивающие работоспособность топливной аппаратуры в течение всего времени эксплуатации, а так-же сохранение мощностных, экономических и экологических показателей в процессе длительной эксплуатации автомобильной техники [1]. Длительная бездефектная эксплуатация автомобиля возможна только при применении дизельного топлива, соответствующего рекомендациям производителя ТА, систем нейтрализации и автомобиля.

Теория. Согласно технического регламента ТР ТС 013/2011 [2] автомобильное дизельное топливо – это жидкое топливо для использования в двигателях внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. Топливо, не предназначенное для применения в дизельном двигателе, не являющиеся топливом для двигателей и не соответствующее требованиям технического регламента ТР ТС 013/2011 [2] и ГОСТ 32511-2013 [3], является суррогатным ДТ.

Содержание серы в суррогатном дизельном топливе может существенно превышать содержание серы в ДТ, изготовленном согласно ГОСТ 32511-2013. При этом могут значительно ухудшаться остальные показатели суррогатного ДТ (цетановое число, температура вспышки, температура предельной фильтруемости, смазывающая способность и т.д.), что неблагоприятно сказывается на ресурсе топливной аппаратуры и работе дизельного двигателя в целом. Это объясняется тем, что суррогаты ДТ – это нефтепродукты, которые могут быть изготовлены не на основе дизельных нефтяных фракций, а так-же не содержащие необходимых пакетов присадок, обеспечивающих смазывающие способности, низкотемпературные характеристики, показатели горения и другие свойства автомобильного ДТ.

Рассмотрим распространенные в продаже виды топлив (таблица 1) в сравнении с ДТ по ГОСТ 32511-2013: судовое маловязкое, светлое печное, и дистиллят газового конденсата. Эти топлива будем считать суррогатными, т.к. они не являются автомобильными и потенциально могут быть применены для заправки автомобиля. Можно отметить следующие отличия характеристик суррогатного и автомобильного топлива и его влияние на работу двигателя:

- по фракционному составу (для судового топлива он не нормируется), что влияет на жесткость работы двигателя, пусковые качества при низких температурах, нагарообразование на форсунках и цилиндро-поршневой группе;
- по плотности (судовое топливо имеет большую плотность, дистиллят газового конденсата может иметь меньшую плотность), что влияет на качества распыливания ДТ, полноту сгорания;
- кинематическая вязкость суррогатов может значительно превышать вязкость автомобильного ДТ, что влияет на качество распыливания ДТ, на полноту сгорания, дымность;
- цетановое число и цетановый индекс не нормируются для светлого печного топлива и дистиллята газового конденсата) ,что влияет на жесткость работы двигателя, дымность. пусковые качества при низких температурах;
- массовая доля серы в них может превышать в 500…1500 раз содержание серы в автомобильном ДТ, что влияет на экологичность двигателя, работу моторного масла, нагарообразование на форсунках и цилиндро-поршневой группе;

- они имеют худшие низкотемпературные свойства, что влияет на запуск и работу двигателя при низких температурах.

- показатель «Смазывающая способность» регламентируется только в автомобильном дизельном топливе и судовом маловязком топливе, и влияет на работу плунжерных пар ТНВД и форсунок, предотвращая их преждевременный износ при применении маслосернистых топлив.

Показатель «смазывающая способность» является одной из важных эксплуатационных характеристик дизельного топлива. Она определяется как «Свойство топлива, измеряемое пятном износа на металлическом шарике, которое образуется в результате трения металлического шарика о неподвижную металлическую пластину, полностью погруженную в топливо в точно определенных условиях испытания» [4]. Смазывающая способность ограничивается показателем «скорректированный диаметр пятна износа wsd 1,4» [4].

Анализ работ, посвященных оценке влияния содержания серы в ДТ на его смазывающую способность [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], показал, что:

1. Для ДТ с содержанием серы менее 500 ppm происходит ухудшение смазывающей способности.

2. В случае применения дизельного топлива с содержанием 2000 ppm процесс изнашивания плунжерной пары насоса менее интенсивный, чем для топлива с содержанием серы 350 ppm (это, скорее всего, применимо только для топливных насосов более ранних выпуском, чем Common Rail).

3. Исследователи указывают на недостаточную смазывающую способность малосернистых ДТ, что требует введения специальных присадок.

4. Отмечается повышенный износ топливной аппаратуры из-за сернистой коррозии при повышенном содержании серы в ДТ.

Таблица 1

Характеристики топлив

Характеристики продукта	Вид топлива			
	Дизельное топливо по ГОСТ 32511-2013	Судовое маловязкое топливо ГОСТ Р 54299-2010	Светлое печное топливо ГОСТ 10585-99	Дистиллят газового конденсата ГОСТ 54389-2011
1	2	3	4	5
1. Фракционный состав:		Не нормируется		
10% перегоняется при температуре не менее	-	-	160 °С	-
65% перегоняется при температуре не менее	250 °С	-		-
90% перегоняется при температуре не менее	360 °С	-	340 °С	360 °С
2. Плотность при 15 °С	820÷845 кг/м^3	890÷900 кг/м^3	840 кг/м3	750÷850 кг/м^3
3. Кинематическая вязкость при 40 °С не выше	2÷4,5 мм^2/с	1,4÷11,0 мм^2/с при 40°С (по марке топлива)	8 мм^2/с	11,0 мм^2/с
4. Цетановое число Цетановый индекс	49 не менее 46 не менее	Цетановый индекс 35, 40, 45 (по марке топлива)	Не нормируется Не нормируется	Не нормируется Не нормируется

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
5. Массовая доля серы, не выше	0,035 % - класс 3 0,005 % - класс 4 0,001% - класс 5	1,0÷1,5 %	0,5 %	1,0 %
6. Температура помутнения, °С	-	Минус 16, не выше	-	Не нормируется
7. Температура предельной фильтруемости, °С	До минус 44°С	-	-	Не нормируется
8. Температура застывания	-	Температура текучести от минус 6°С до 6°С по марке	Минус 8°С	Не нормируется
9. Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С, мкм, не более	460	520	Не нормируется	Не нормируется

Задачи исследования. С целью определения зависимости смазывающей способности автомобильного ДТ от содержания серы необходимо.

1. Провести отбор проб ДТ в ходе испытаний и эксплуатации автомобилей КАМАЗ с баков или при заправке с АЗС.
2. Определить содержание серы в пробах ДТ.
3. Определить смазывающую способность ДТ.
4. Провести оценку зависимости смазывающей способности ДТ от содержания серы.

Результаты физико-химический анализ дизельного топлива. Отбор проб дизельного топлива проводился на АЗС при заправке в ходе эксплуатационных испытаний автомобилей КАМАЗ, и из баков автомобилей в процессе выполнения работ по техническому обслуживанию. Анализ проб топлива проводился в Центральной лаборатории топлив и масел НТЦ ПАО «КАМАЗ».

В ходе анализа проб топлива определялись:

- массовая доля серы по ГОСТ Р 51947-2002;
- смазывающая способность по ЕН ИСО 12156:1/2000.

Для определения смазывающей способности ДТ применялась система высокочастотного возвратно-поступательного движения с трением шарика по пластинке (High Frequency Reciprocating Rig - HFRR). Она обеспечивает качественную оценку смазывающих характеристик дизельных топлив. Система и вид протокола анализа показан на рис. 1. Система состоит из механического модуля, блока управления, климатической камеры и прецизионного микроскопа (рис. 1). Блок управления со встроенным микропроцессором включает в себя клавиатуру и двухстрочный жидкокристаллический дисплей. Блок управления автоматически выполняет контроль всех параметров работы системы в автономном режиме без участия оператора.

В комплект системы входит специальный датчик температуры и влажности, параметры которого автоматически регистрируются в соответствии с требуемыми стандартами в начале и конце испытания. В конце испытания, инженер с помощью микроскопа измеряет величину пятна износа шарика и вводит измеренные значения в блок управления, при этом автоматически вычисляется значение WS1.4 (Рассчитанное значение диаметра пятна износа, скорректированное по стандартному давлению водяного пара 1,4 кПа).

Результаты определения смазывающей способности представлены в таблице 2 и на рисунке 2. Всего было исследовано 35 проб ДТ с разным содержанием серы. Из таблицы 2 и рисунка 3 следует, что по диаметру пятна износа соответствуют требованиям ГОСТ 32511-2013 60% проверенных проб. При этом, независимо от содержания серы, 40% проб разного экологического класса не соответствует требованиям по смазывающей способности, и имеет диаметр пятна износа более 460 мкм.

Выводы. В результате проведения физико-химического анализа проб ДТ установлено:

1. 25% проб топлива Евро (с содержанием серы до 350 ppm) не соответствуют по показателю «смазывающая способность», при этом 40% всего проверенного топлива не соответствуют требованиям ГОСТ 32511-2013 по указанному показателю.

2. Не выявлено явной зависимости смазывающей способности (диаметра пятна износа) от содержания серы в ДТ.

3. Смазывающая способность ДТ зависит не только от содержания серы, но и от других факторов: фракционного состава топлива, и видов соединений, образованных серой, а так же наличия пакета присадок, определяющих этот показатель.

Рис. 1. Система HFRR для определения смазывающей способности дизельного топлива

Таблица 2

Распределение проб топлива по содержанию серы диаметру пятна износа

Нормативный документ	Содержание серы, ppm	Количество проб		Количество проб, соответствующих диаметру пятна износа	
		штук	%	До 460 мкм	Более 460 мкм
ГОСТ Р 52368-2005; ГОСТ 32511-2013	до 10 ppm (экологический класс 5)	7	19,4	5	2
	от 10 до 50 ppm (экологический класс 4)	7	19,4	6	1
	от 50 до 350 ppm (экологический класс 3)	10	28,6	7	3
ГОСТ 305-82	до от 350 до 2000 ppm	9	25,8	3	6
Не соответствует нормативным документам	Более 2000 ppm	2	5,8	0	2
Итого:		35	100	21 или 60%	14 или 40%

Заключение

1. Показатель «смазывающая способность» является очень важной эксплуатационной характеристикой ДТ. При оценке качества автомобильного дизельного топлива недостаточно опираться только на показатель «содержание серы», а рассматривать основные показатели ДТ по ГОСТ 32511-2013.

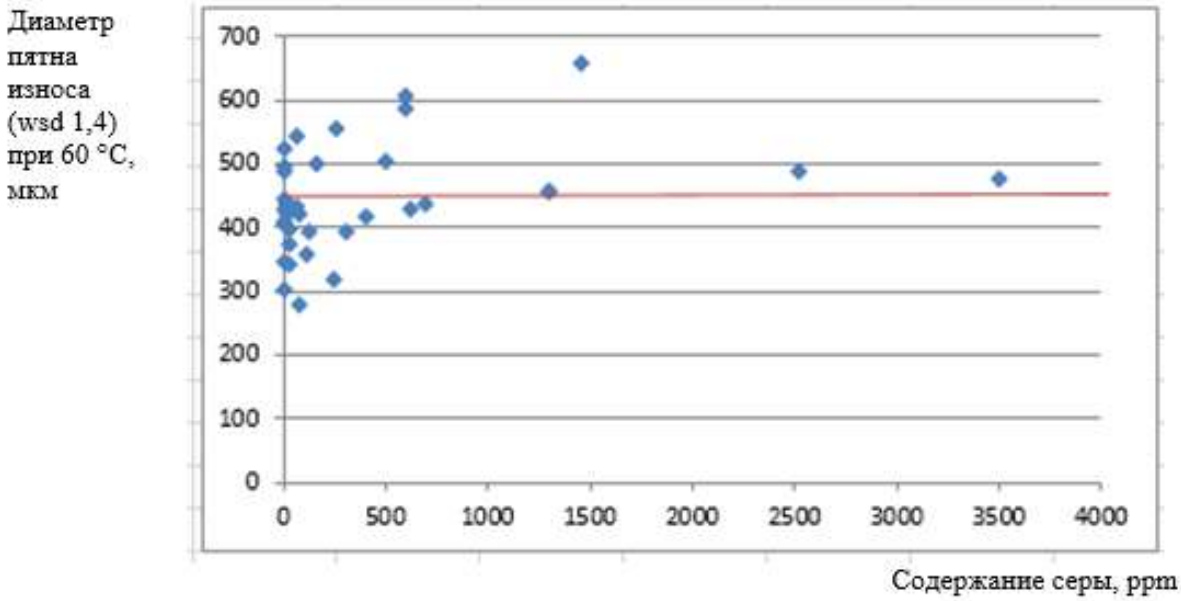


Рис. 2. Зависимость диаметра пятна износа в ДТ от содержания серы

2. На смазывающую способность ДТ влияет не только содержание серы, но и его фракционный состав, а так же виды соединений, образованных серой

3. Применения суррогатного дизельного топлива в эксплуатации современных грузовых автомобилей с дизельными двигателями может стать причиной выхода из строя топливной аппаратуры, двигателя, систем нейтрализации, что может вызвать срыв сроков поставки товаров, доставки пассажиров, а так же потери репутации автоперевозчика.

Литература:

1. О технических требованиях к качеству моторных топлив для автомобильной техники / В. В. Соколов, Д. В. Извеков, Б. М. Бунаков, Ю. В. Шюте // Труды НАМИ. – 2010. – № 244. – С. 123-135.

2. ТР ТС 013/2011, ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА.

3. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009), Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.

4. ГОСТ Р ИСО 12156-1-2006, Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR.

5. Установление влияния соединений серы на противоизносные свойства дизельных топлив / А. В. Середа, А. Н. Приваленко, Е. А. Шарин [и др.] // Международный технико-экономический журнал. – 2011. – № 3. – С. 116-119.

6. Берштейн, А. И. Проблемы технической эксплуатации топливной аппаратуры дизельных двигателей автомобилей / А. И. Берштейн, А. Г. Чередник // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8-3. – С. 429-432.

7. Анализ влияния физикохимических показателей дистиллятных топлив на надежность работы топливной аппаратуры / А. В. Надежкин, L. Q. Hieu, А. В. Голенищев, М. Е. Старченко // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Доклады научно-практической конференции. – 2017. – № 2(2). – С. 434-440.

8. Шевченко, Г. А. Влияние сернистых соединений на смазывающую способность дизельных топлив / Г. А. Шевченко, Н. И. Кривцова // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2015. – № 2(2). – С. 45-58. – DOI 10.17223/24135542/2/5.

9. Шевченко, Г. А. Связь смазывающей способности дизельных топлив с их физико-химическими характеристиками / Г. А. Шевченко, Н. И. Кривцова // Нефтегазопереработка - 2015 : Материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 20 мая 2015 года / ГУП «Институт нефтехимпереработки РБ». – Уфа: Государственное унитарное предприятие «Институт нефтехимпереработки Республики Башкортостан», 2015. – С. 74-75.

10. Перекрестов, А. П. Исследование изнашивания плунжерной пары топливного насоса дизельного двигателя / А. П. Перекрестов, М. А. Саидов, С. М. Ногамирзаев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 3. – С. 70-77. – DOI 10.24143/2073-1574-2018-3-70-77.

11. Керученко, Л. С. Влияние качества дизельного топлива на износ прецизионных сопряжений топливной аппаратуры / Л. С. Керученко, С. П. Прокопов, А. В. Студеникин // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях : сборник всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 29 ноября 2019 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2019. – С. 165-169.

The results of determining lubricity of diesel fuel used during KAMAZ vehicles operation

Teterin M.F.[1,a], Mironova O.V.[1,b], Salakhutdinova T.G.[1,c]

[1]"KAMAZ" PTC, Avtozavodsky str., 2, Naberezhnye Chelny, Russia
[a]Maksim.Teterin@kamaz.ru, [b]MironovaOV@kamaz.ru, [c]SalakhutdinovaTG@kamaz.ru

Keywords: diesel fuel, surrogate fuel, lubricity of diesel fuel.

The article studies the problem of surrogate diesel fuel, shows the effect of the lubricating ability of fuel on the performance and service life of the fuel equipment of an automobile engine. The results of determining lubricating ability of diesel fuel during KAMAZ vehicles operation are obtained.

УДК 629.786.2

Влияние гироскопичности вала турбонасосного агрегата на полет ракеты

Бордачев В.А. [1,a], Кустов А.В.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a] vladimir27032001@mail.ru,[b] alexkust@mail.ru

Ключевые слова: гироскопическая стабильность, турбонасосный агрегат, полет ракеты, технические решения, методы расчета.

Данная статья исследует влияние гироскопической стабильности вала турбонасосного агрегата на полет ракеты. Описываются проблемы, которые могут возникнуть при управлении некоторыми типами ракет в результате гироскопических эффектов. Рассматриваются методы расчета и оптимизации гироскопической стабильности, а также технические решения, позволяющие уменьшить влияние этой характеристики на полет ракеты. Ключевыми моментами являются использование

турбонасосных агрегатов с низкой гироскопической стабильностью, применение гироскопических компенсаторов и современные технологии производства, способные создавать компактные и эффективные турбонасосные агрегаты.

Влияние гироскопической стабильности на динамику полета ракеты имеет важное значение, поскольку это может вызвать нестабильность и трудности в управлении. Турбонасосный агрегат играет ключевую роль в запуске ракеты, поэтому важно рассмотреть влияние гироскопической стабильности вала турбонасоса на полет ракеты.

Прежде всего, важно понимать, что гироскопическая стабильность связана с изменением наклона вала турбонасоса под действием крутящего момента от двигателя [1]. Это может вызвать изменение угла атаки ракеты и ее траектории полета. Если крутящий момент будет достаточно большим, то это может привести к нестабильности полета и даже к аварии (рис 1).

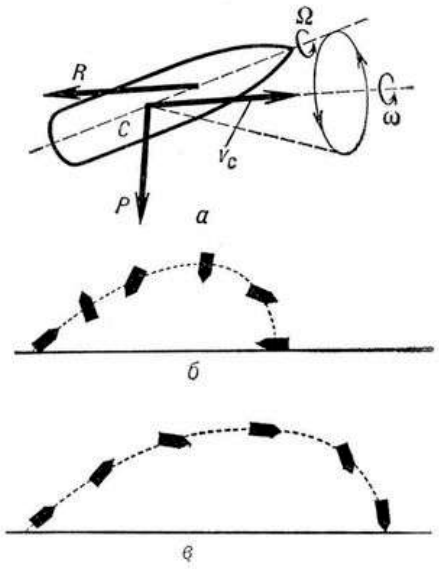


Рис. 1. а — процесс полета ракеты; б и в — схемы движения ракеты и их траектории соответственно; б — нестабильный палет; в — стабильный палет

Однако чтобы уменьшить влияние гироскопической стабильности на полет ракеты, можно применить несколько технических решений. Во-первых, можно использовать турбонасосный агрегат с низкой гироскопической стабильностью, которая обеспечивает более гладкое вращение вала и меньшие изменения угла атаки ракеты [2].

Во-вторых, можно использовать специальные устройства, такие как гироскопические компенсаторы, которые компенсируют изменения угла атаки, вызванные гироскопической стабильностью вала турбонасоса. Это позволяет сохранять стабильность полета ракеты и управлять ею [3].

Гироскопическая стабильность вала турбонасосного агрегата может оказать важное влияние на динамику полета ракеты, но существуют технические решения, которые могут уменьшить это влияние и обеспечить стабильность полета. Важно учитывать этот фактор при разработке и проектировании турбонасосных агрегатов для ракет.

При проектировании турбонасосного агрегата для ракеты необходимо учитывать не только гироскопическую стабильность, но и другие характеристики, такие как мощность, эффективность, надежность и т.д. Однако, при выборе оптимального турбонасосного агрегата для конкретного типа ракеты необходимо учитывать и гироскопическую стабильность вала, чтобы не допустить массовую аварию на старте или в процессе полета.

Инженеры, занимающиеся разработкой турбонасосных агрегатов и других компонентов ракеты, могут использовать различные методы и средства для расчета и оптимизации гироскопической стабильности. Например, одним из распространенных

подходов является численное моделирование с использованием компьютерных программ и симуляторов. С помощью этих средств можно проанализировать влияние различных параметров, таких как скорость вращения вала, масса и расположение других компонентов, на гироскопическую стабильность и принять соответствующие меры для уменьшения ее влияния на полет ракеты.

В целом, влияние гироскопической стабильности вала турбонасосного агрегата на полет ракеты является важным фактором, который необходимо учитывать при разработке и проектировании компонентов ракет. Современные методы расчета и оптимизации позволяют инженерам сократить риски нестабильности и обеспечить безопасный полет.

Кроме того, влияние гироскопической стабильности вала турбонасосного агрегата на полет ракеты может быть изменено в процессе эксплуатации. Например, если ракета находится в маневрировании, то ее положение и траекторию можно изменить с помощью специальных систем управления. Эти системы могут использовать данные с инерциальных измерительных устройств и других датчиков для определения изменений положения и ориентации ракеты в пространстве, и затем применять корректирующие маневры, чтобы компенсировать гироскопическую стабильность и обеспечить стабильность полета.

Также современные технологии производства и материалов позволяют разработать более эффективные и компактные турбонасосные агрегаты, которые могут обеспечить более низкую гироскопическую стабильность вала. Например, использование сплавов с высокой прочностью и низкой плотностью может снизить массу вала и обеспечить более гладкое вращение без значительных изменений угла атаки.

Таким образом, влияние гироскопической стабильности вала турбонасосного агрегата на полет ракеты является серьезным фактором, который необходимо учитывать при разработке и проектировании ракетного оборудования. Однако, современные методы расчета, технологии производства и системы управления могут сократить риски нестабильности и обеспечить стабильность полета. Будущие исследования и разработки будут направлены на дальнейшее повышение эффективности и безопасности ракетного оборудования.

Литература:

1. Матвеев, В. В. Математические основы управления и навигации : учебное пособие / В. В. Матвеев, А. Г. Колесникова ; под общей редакцией В. В. Матвеева. — Тула : ТулГУ, 2022. — 141 с. — ISBN 978-5-7679-4958-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/226262 (дата обращения: 24.04.2023).

2. Хамидуллин, В. К. Технические средства навигации и управления движением : учебное пособие / В. К. Хамидуллин. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2019. — 141 с. — ISBN 978-5-907054-73-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/157079 (дата обращения: 24.04.2023).

3. Кокин, С. М. Физика: механика, молекулярно-кинетическая теория, термодинамика, электричество и магнетизм. Конспект лекций для студентов специальностей ИУЦТ, ИТТСУ, ИПСС для магистров направления 38.04.02 «Менеджмент» и аспирантов направлений 38.06.01 «Экономика», 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта» : учебное пособие / С. М. Кокин, В. А. Никитенко. — Москва : РУТ (МИИТ), 2021. — 300 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/269537 (дата обращения: 24.04.2023).

Influence of the gyroscopicity of the turbopump shaft on the rocket flight

Bordachev V.A. [1,a], Kustov A.V.[1,b]

[1]Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, prosp. them. gas. "Krasnoyarsk worker", 31
[a] vladimir27032001@mail.ru, [b] alexkust@mail.ru

Key words: gyroscopic stability, turbopump unit, rocket flight, technical solutions, calculation methods.

This article examines the effect of the gyroscopic stability of the turbopump shaft on the flight of a rocket. The problems that may arise when controlling some types of rockets as a result of gyroscopic effects are described. Methods of calculation and optimization of gyroscopic stability, as well as technical solutions to reduce the impact of this characteristic on the flight of the rocket are considered. The key points are the use of turbopump units with low gyroscopic stability, the use of gyroscopic compensators and modern production technologies capable of creating compact and efficient turbopump units.

УДК 629.762.5

Влияние реализации многоразовых запусков ракеты

Бордачев В.А. [1,a], Кустов А.В.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a] vladimir27032001@mail.ru,[b] alexkust@mail.ru

Ключевые слова: многоразовые ракеты, космическая миссия, затраты,экономия.

Статья описывает преимущества и недостатки многоразовых запусков ракет. Повторное использование ракет-носителей существенно снижает затраты на производство и запуск новых ракет и расширяет научные и коммерческие возможности. Однако создание многоразовых ракет требует больших вложений и дополнительной проверки, и технического обслуживания, а также может ограничивать типы миссий и научных экспериментов. Также описываются экологические преимущества многоразовых запусков ракет, так как они сокращают количество отходов и загрязняющих веществ, выделяемых при каждом новом запуске. В статье отмечается, что многие космические компании сейчас активно работают над созданием многоразовых ракет, и описываются примеры успешных запусков таких ракет, включая SpaceX Falcon 9 и Blue Origin New Shepard. Кроме того, обсуждаются потенциальные перспективы и вызовы для многоразовых запусков ракет в будущем, включая расширение возможностей для исследования космоса, создание космических туристических программ и уменьшение стоимости доступа к космическим услугам. В целом, статья предоставляет полный обзор преимуществ и ограничений, связанных с использованием многоразовых ракет на практике.

Ракетные запуски являются одним из ключевых элементов космической инфраструктуры нашей планеты. Современные ракеты могут запускаться только однажды,

после чего они разбиваются обратно на составляющие части, что делает их очень дорогими. Именно поэтому многоразовые запуски ракет стали главной темой обсуждения среди космических компаний и научных сообществ в последние годы.

Проблема реализации многоразовых запусков ракет заключается в том, что она требует новой технологии, которая бы позволила использовать те же компоненты для нескольких запусков без необходимости их замены. Это подразумевает не только использование более качественных материалов, но и новых инженерных решений, предназначенных для увеличения срока эксплуатации ракетных двигателей и других элементов [1].

Одним из главных препятствий на пути к реализации многоразовых запусков является сложность технических задач, которые нужно решить, чтобы сделать систему столь надежной, чтобы не возникало серьезных проблем при каждом новом запуске. В то же время, стоимость разработки новой технологии достаточно высока, что делает ее неприемлемой для большинства космических компаний.

Несмотря на сложности, многоразовые запуски ракет являются одним из ключевых направлений развития космической индустрии и способом экономии средств. Нередко предпринимаются научно-исследовательские проекты, в рамках которых изучаются принципы многоразовых запусков, и те же самые компании, которые сейчас выпускают одноразовые ракеты, начинают вести работу в этом направлении.

В любом случае, те, кто работает в космической индустрии, понимают, что многоразовые запуски – это путь в будущее. Несмотря на все трудности, которые придется преодолеть, наука и технология продолжают развиваться, и, возможно, рано или поздно мы увидим многоразовые запуски ракет собственными глазами.

одной из основных проблем, связанных с многоразовыми запусками, является повышенный риск привнесения неисправностей в ракету, которые могут негативно повлиять на следующий запуск. Компании также должны бороться с износом материалов и электроники, которые используются в ракете, чтобы увеличить их эксплуатационный срок.

Кроме того, существует мнение, что реализация многоразовых запусков может привести к снижению качества и безопасности запусков, если компании будут уменьшать затраты на процесс и обеспечение надежности ракеты в пользу экономии на затратах на каждый запуск.

Тем не менее, многоразовые запуски имеют множество преимуществ. Во-первых, они снижают стоимость запусков, а это может привести к более частым и доступным космическим миссиям и в конечном итоге расширению и углублению наших знаний об окружающей нас вселенной. Во-вторых, они снижают количество отходов, что является важным аспектом экологии.

Один из наиболее ярких примеров многоразовых запусков ракет - это программа SpaceX для многоразовых ракет-носителей Falcon 9 и Falcon Heavy. Эти ракеты используются для запуска грузов и коммерческих миссий, а также для доставки астронавтов на Международную космическую станцию.

Возможность многократного использования ракет-носителей позволила компании SpaceX значительно сократить затраты на запуски и увеличить частоту космических миссий. В 2018 году SpaceX осуществила первый многоразовый запуск миссии Block 5 Falcon 9, который был использован для запуска 64 спутников одновременно.

Также в рамках программы многоразовых запусков ракет компания Blue Origin, принадлежащая Джеффу Безосу, разработала многоразовую ракету-носитель New Shepard, которая была запущена успешно более 10 раз.

Кроме того, NASA и Европейское космическое агентство также работают над разработкой многоразовых ракет-носителей, таких как Space Launch System и Ariane 6.

Одним из наиболее активно продвигаемых проектов в России многоразовых ракет является «Байкал-Ангара». Перспективный модуль «Байкал» представляет многоразовый ускоритель (МРУ) первой ступени ракеты-носителя Ангара, разработанный в ГКНПЦ им.

Хруничева. Особенностью многоразового ускорителя «Байкал» является возврат, осуществляемый самолётным способом. После отстыковки «Байкал» разворачивает поворотное крыло в верхней части корпуса и осуществляет посадку на аэродром, при этом может осуществляться манёвр на дальности порядка 400 км [1].

Компания «Лин Индастриал» проектирует сверхмалую суборбитальную ракету «Тейя», предназначенную для взлета до условной границы космоса 100 км с последующим возвращением. Несмотря на скромные характеристики проекта, он может дать технологии, необходимые для создания в дальнейшем РН с более высокими характеристиками [2].

Преимущества многоразовых запусков ракет:

1. Снижение стоимости запусков: повторное использование ракет-носителей существенно снижает затраты на производство и запуск новых ракет.

2. Увеличение доступности космических запусков: более низкие затраты на запуски позволяют получать больше миссий и экспериментов на космических объектах, что расширяет научные и коммерческие возможности.

3. Экологические преимущества: повторное использование ракет сокращает количество отходов и загрязняющих веществ, выделяемых при каждом новом запуске.

Недостатки многоразовых запусков ракет:

1. Высокие начальные затраты: создание многоразовых ракет требует больших вложений в исследование, разработку и тестирование новых технологических решений.

2. Необходимость дополнительной подготовки: многоразовые ракеты требуют дополнительной проверки и технического обслуживания, что может увеличивать затраты на их эксплуатацию.

3. Ограниченная грузоподъемность: многоразовые ракеты на данный момент имеют меньшую грузоподъемность, чем одноразовые ракеты, что может ограничивать типы миссий и научных экспериментов.

4. Больший риск для экипажа: повторное использование ракет-носителей может увеличить риск для астронавтов и другого персонала на борту, так как такая техника имеет более сложную конструкцию и может быть более уязвимой к нарушению целостности.

В заключении можно сказать, что многоразовые запуски ракет – это сложная техническая задача, но они являются важным направлением развития космической индустрии. На данный момент эта технология является перспективной для космических компаний и научных сообществ, которые продолжают вести работы исследования в этой области, чтобы в будущем осуществлять многоразовые запуски ракет, что должно способствовать более экономичным и безопасным космическим полетам.

Литература:

1. Тестоедов, Н. А. Проектирование и конструирование баллистических ракет и ракет-носителей : учебное пособие / Н. А. Тестоедов, В. В. Кольга, Л. А. Семенова. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2014. — 308 с. — ISBN 978-5-86433-608-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/147502 (дата обращения: 24.04.2023).

2. Проекты многоразовых ракет-носителей [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://topwar.ru/162070-proekty-mnogorazovyh-raket-nositelej-v-rossii-est-li-u-nih-buduschee.html (дата обращения 22.04.2023)

3. Оружие и системы вооружений: материалы студенческой научнотехнической конференции (19 ноября 2020 года, г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2020. – 46 с.

The impact of the implementation of reusable rocket launches

Bordachev V.A. [1,a], Kustov A.V.[1,b]

[1]Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, prosp. them. gas. «Krasnoyarsk worker», 31
[a] vladimir27032001@mail.ru, [b] alexkust@mail.ru

Key words: reusable rockets, space mission, costs, savings.

The article describes the advantages and disadvantages of reusable rocket launches. The reuse of launch vehicles significantly reduces the cost of manufacturing and launching new rockets and expands scientific and commercial opportunities. However, the creation of reusable rockets requires large investments and additional verification and maintenance, and can also limit the types of missions and scientific experiments. The environmental benefits of reusable rocket launches are also described, as they reduce the amount of waste and pollutants released with each new launch. The article notes that many space companies are now actively working on the creation of reusable rockets, and describes examples of successful launches of such rockets, including SpaceX Falcon 9 and Blue Origin New Shepard. In addition, potential prospects and challenges for reusable rocket launches in the future are discussed, including the expansion of opportunities for space exploration, the creation of space tourism programs

УДК 629.11.012.5.002.612

Разработка прикладных теорий и методов исследования – как результат создания и применения уникального экспериментального оборудования

Рыков С.П.[1,a], Мазур В.В.[1,b], Рыкова О.А.[1,c]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]rsp7-8-48@rambler.ru, [b]mazurvv@yandex.ru, [c]olga.tonoyn@mail.ru

Ключевые слова: прикладная теория, неупругое сопротивление, методы исследования, экспериментальное оборудование, автомобильная шина, элементы подвески, виброзащита.

В статье даётся краткий обзор становления научной школы кафедры «Автомобильный транспорт» и решаемых проблем основных направлений прикладных исследований и инновационных разработок.

Более подробно излагается эллиптическо-степенная теория неупругого сопротивления в автомобильных шинах и ее приложение к листовым рессорам, гидравлическим амортизаторам и резиновым виброизоляторам, а также к оценке коэффициента сопротивления качению колеса. Дается описание экспериментальной базы кафедры и оригинальных конструкций элементов подвески автомобиля.

Успехи и достижения любой научной школы напрямую зависят от веса, который имеет основатель и руководитель школы и научном сообществе, от актуальности и перспективности проблем и задач, ставящихся перед ее участниками. Более того, успехи научной школы определяются хорошим финансированием разработок, развитой базой

металлообрабатывающих предприятий в регионе, возможностью быстрого продвижения публикаций сотрудников школы в центральных издательствах. И, соответственно, от успешности учеников и продолжателей научного направления в реализации своих идей и решений при защите кандидатских и докторских диссертаций в диссертационных советах страны.

Научная школа кафедры «Автомобильный транспорт» Братского государственного университета была сформирована выдающимся учёным в области форсированных, полигонных и стендовых испытаний автомобильной техники, заслуженным деятелем науки и техники РФ, лауреатом премии Совета Министров, доктором технических наук, профессором Яценко Николаем Никаноровичем. Причем разработки велись сразу по нескольким направлениям, включая создание лабораторных стендов и установок, дорожных лабораторий и оборудования для обмера микропрофиля дорог, различных датчиков и приспособлений для измерения исследуемых параметров и процессов.

В результате многолетних усилий был создан уникальный исследовательский комплекс для лабораторных и дорожных испытаний пневматических шин, листовых рессор, гидравлических амортизаторов, резиновых виброизоляторов, автомобильных подвесок, тормозных и рулевых систем управления, для оценки параметров плавности хода, тормозной динамики и топливной экономичности автомобилей в различных режимах движения с возможностью измерять и регистрировать силовые и кинематические параметры, строить и анализировать функциональные связи и закономерности.

В этот комплекс вошли высокопроизводительные и многофункциональные стенды с автоматизированным электромеханическим и гидравлическим приводами. Такие как: универсальный шинный стенд (рис. 1); стенд комплексного нагружения колеса с динамометрической площадкой (рис. 2); дорожная лаборатория с экспериментальным полуприцепом (рис. 3); гидропульсационный стенд с оборудованием для испытания автомобильных шин, элементов подвески и виброзащиты (рис. 4) и насосная станция для привода силового гидроцилиндра (рис. 5).

Была создана измерительно-информационная система исследовательского комплекса, первоначально сформированная из промышленных приборов с дискретной элементной базой. Которые в дальнейшем были заменены на персональный компьютер и приборы с микропроцессорной элементной базой (рис. 6).

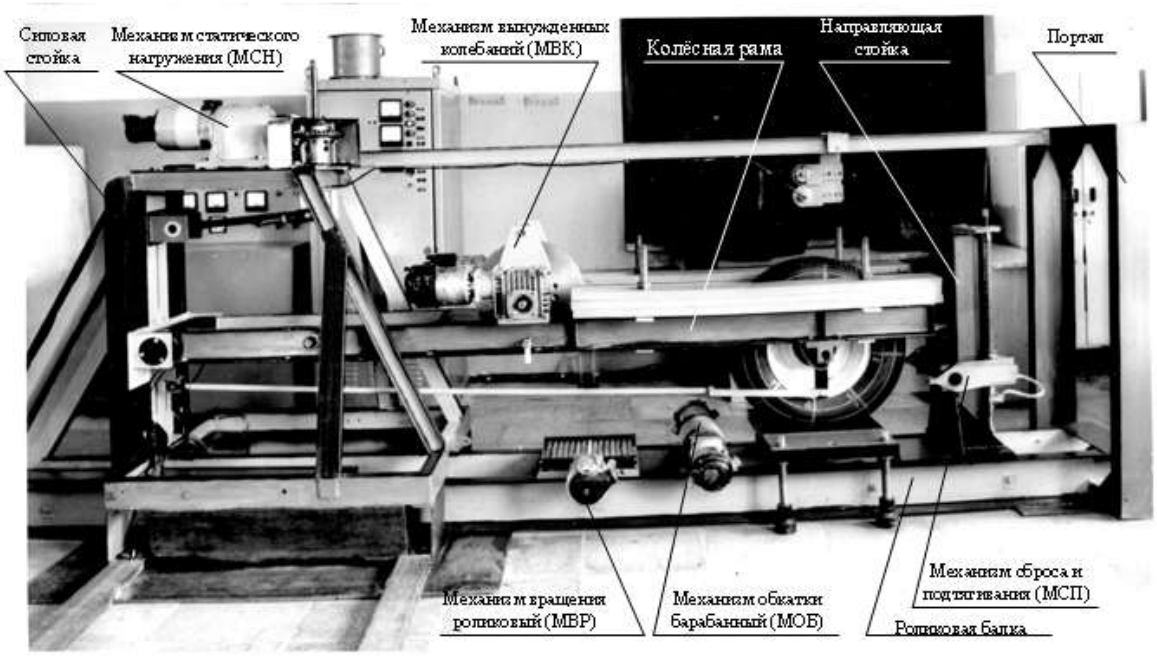


Рис. 1. Универсальный шинный стенд

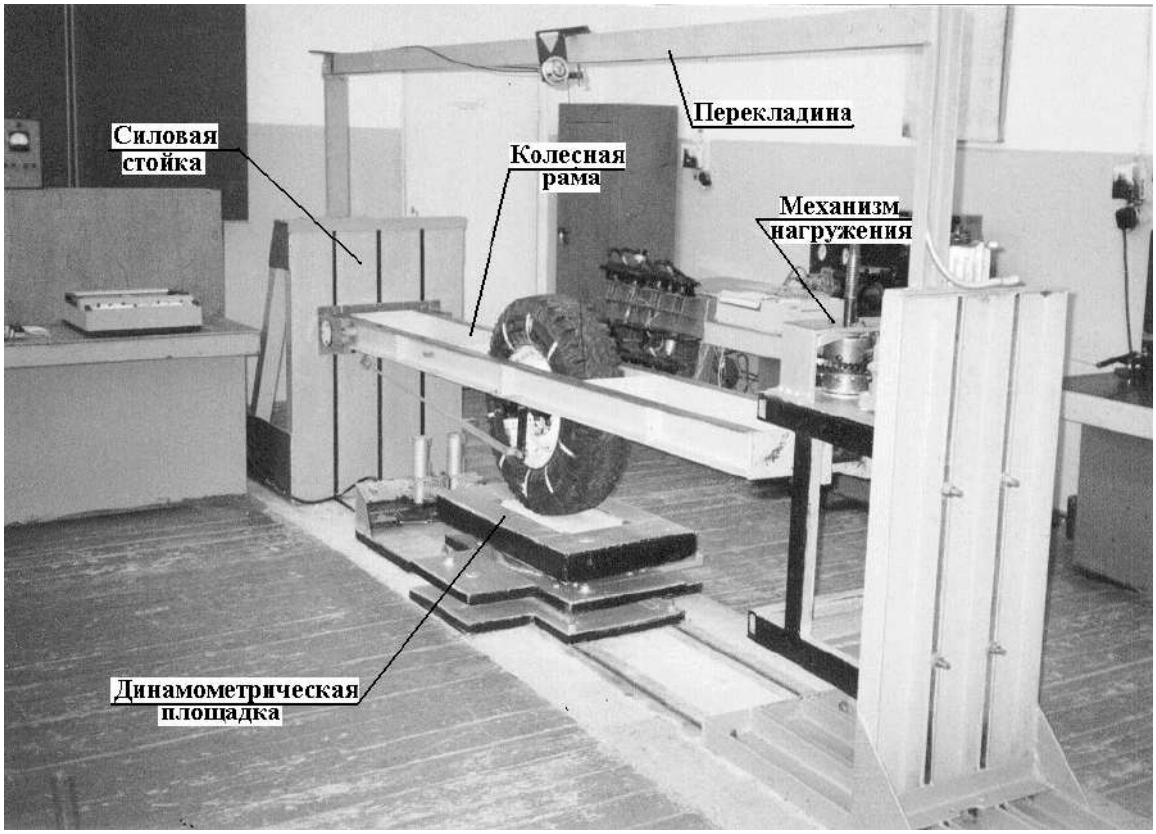


Рис. 2. Стенд комплексного нагружения колеса с динамометрической площадкой

Рис. 3. Дорожная лаборатория с экспериментальным полуприцепом

а

б

в

г

Рис. 4. Гидропульсационный стенд в комплектации для проведения экспериментов: а – с автомобильными шинами; б – с гидравлическими амортизаторами; в – с листовыми рессорами; г – с резиновыми виброизоляторами

Рис. 5. Насосная станция для питания силового цилиндра гидропульсационного стенда

а *б*

Рис. 6. Измерительно-информационная система испытательного комплекса на разных этапах формирования:
а – начальный этап; б – в настоящее время

Уникальность и востребованность созданного комплекса отмечалась и ведущими учёными, чьи труды в области автомобильных наук широко известны как в России, так и за рубежом, которые в разное время посещали Братский вуз и знакомились с лабораториями кафедры АТ, экспериментальными стендами и установками, выполненными исследованиями сотрудников и преподавателей кафедры.

Опираясь на эту исследовательскую базу, одновременно совершенствуя средства измерения и регистрации в соответствии с достижениями науки и технологии, сотрудники кафедры подготавливали и защищали диссертации на соискание учёных степеней как кандидатов, так и докторов технических наук. По тематике научной школы Н.Н. Яценко было защищено 12 кандидатских и 3 докторских диссертации.

На текущий момент наибольших результатов и признания в научном сообществе в виде защищенных докторских диссертаций, изданных в центральных издательствах монографий и статей, докладов на международных научно-технических конференциях и полученных патентов достигли исследования в двух направлениях.

Первое, возглавляемое доктором технических наук, профессором кафедры «Автомобильный транспорт» Псковского госуниверситета А.А. Енаевым, направлено на разработку теории и методов оценки колебаний автомобиля при торможении, включая экстренное,
а также оценку нагруженности трансмиссии автомобиля в этом режиме движения.

Второе направлено на развитие теории неупругого сопротивления в технических системах применительно к моделированию и оценке демпфирующих свойств гидравлических амортизаторов, трения в листовых рессорах и резиновых виброизоляторах, а также к оценке сопротивления качению автомобильного колеса и неупругого сопротивления в шинах в случае сложного (комплексного) нагружения. Основы этой теории были разработаны в совместных работах профессоров Яценко Н.Н. и Рыкова С.П. для моделирования и оценки неупругого сопротивления в пневматических шинах в случае нагружения колеса нормальной силой [1–6, 8].

В качестве гипотез при построении математического аппарата теории были выдвинуты следующие. Во-первых, принято, что в механических системах сила неупругого сопротивления (сила трения) любой физической природы как функция от деформации материала может быть графически отображена в виде замкнутой петли – петли гистерезиса, форма которой изменяется от идеального эллипса для вязкостного трения до удлинённого параллелограмма для сухого трения. Поскольку в реальных материалах и конструкциях при

циклическом деформировании, как правило, проявляются несколько видов сопротивления, то их экспериментальные петли гистерезиса будут иметь форму удлиненного овала, в большей или меньшей степени приближающуюся к форме идеального эллипса. Во-вторых, зависимость напряжения в материале от деформации при циклическом нагружении является степенной функцией, определяемой амплитудой, а не скоростью деформации. И, в-третьих, при циклическом нагружении материала неупругая составляющая деформации отстает по фазе от упругой на 90º.

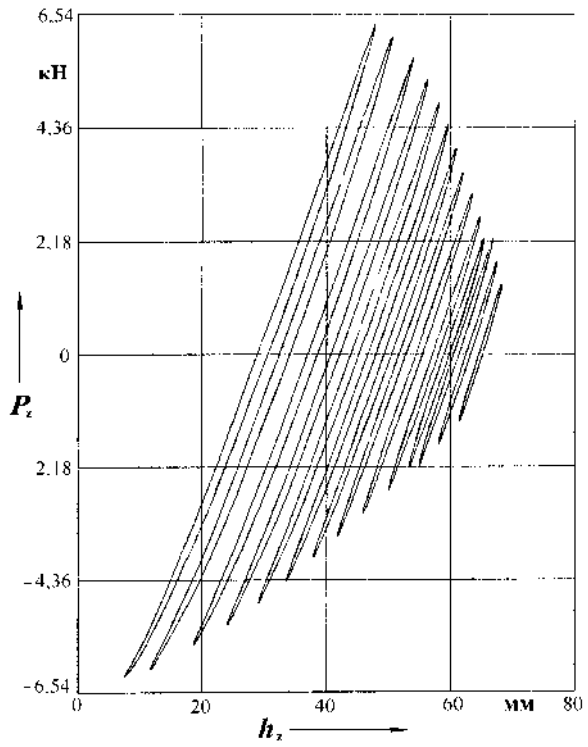
Исходя из этого, уравнение петли гистерезиса при циклическом деформировании конструкционных материалов может быть записано в следующем виде:

$$\tilde{\sigma} = \alpha \xi_a^{\beta} \sqrt{1 - \left(\frac{\xi}{\xi_a}\right)^2} \operatorname{sign} \dot{\xi}, \qquad (1)$$

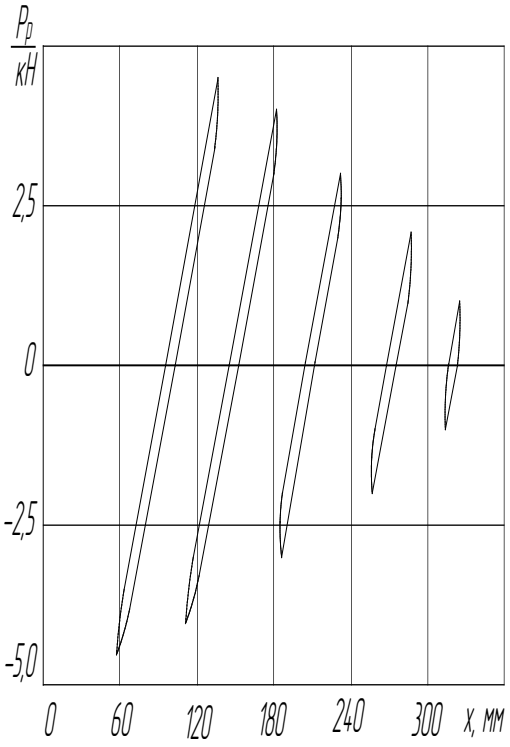
где α, β – параметры петли гистерезиса (модели неупругого сопротивления); ξ, ξ_a – текущее и амплитудное значение деформации материала; $\operatorname{sign} \dot{\xi}$ – функция «знак $\dot{\xi}$».

Дальнейшие исследования, в первую очередь экспериментальные, пневматических шин, элементов подрессоривания и виброзащиты автомобиля показали, что их основные выходные характеристики действительно имеют форму замкнутой петли, с той или иной степенью приближения описываемую уравнением модели (1). Образцы выходных характеристик приведены на рис. 7. А если учесть, что некоторое несовпадение экспериментальных выходных характеристик с теоретическим их представлением с позиции влияния на колебания автомобиля несущественно, поскольку главным мерилом диссипативных потерь в элементе является площадь замкнутой петли, то становится совершенно очевидным возможность единого подхода к моделированию неупругого сопротивления во всех перечисленных элементах.

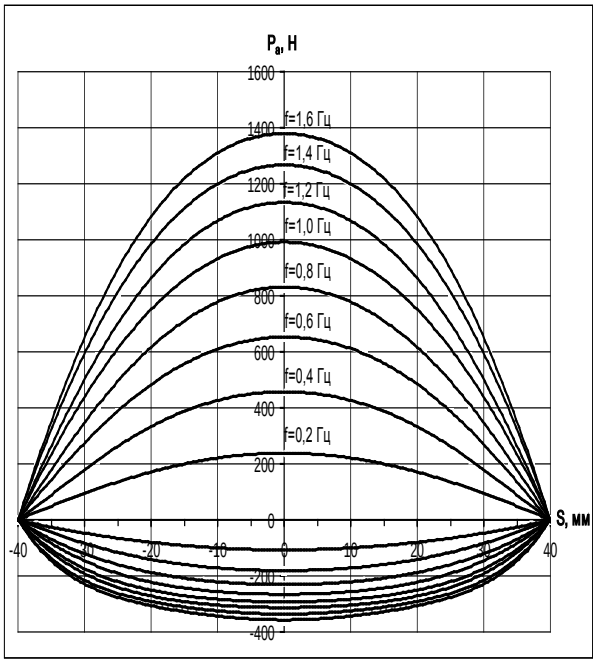
Отсюда вытекают задачи, стоящие перед экспериментальными исследованиями элементов подрессоривания и виброзащиты. Это выявление закономерностей между параметрами модели (1) каждого элемента, т.е. α и β с одной стороны, и параметрами их нагружения, т.е. уровнем, частотой или скоростью нагружения, с другой. В этот ряд можно добавить параметры, характеризующие уровень технического состояния элементов подрессоривания и виброзащиты. Тогда теорию неупругого сопротивления можно использовать для разработки методов диагностирования пневматических шин, листовых рессор, гидравлических амортизаторов и подвески автомобиля в целом.



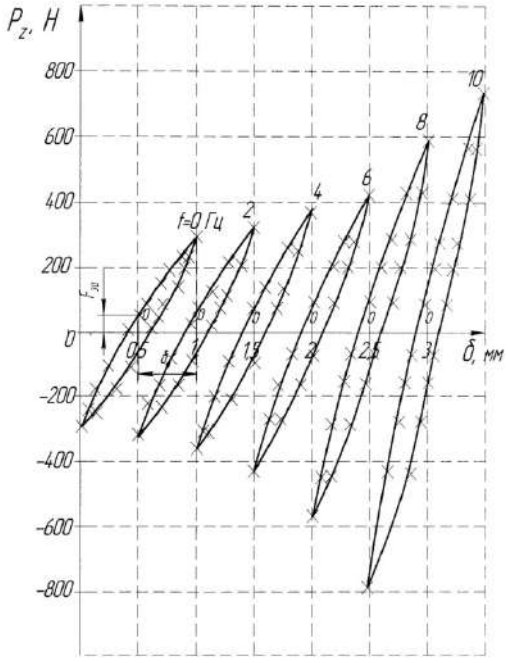
а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Выходные характеристики пневматических шин, элементов подрессоривания и виброзащиты автомобиля, полученные экспериментально с использованием исследовательского комплекса кафедры АТ БрГУ:
а – характеристики нормальной жесткости шины 185R15 модели Я-288 микроавтобуса РАФ-2203; б – характеристики упругости листовой рессоры передней подвески автомобиля УАЗ-31514; в – рабочие диаграммы амортизатора задней подвески автомобиля ГАЗ-3110; г – характеристики упругости подушки двигателя автомобиля ГАЗ-3110 [3, 5]

Поскольку уравнение (1), отражающее силу неупругого сопротивления, является нелинейным, то его ввод в дифференциальные уравнения даже простых колебательных систем приводит к значительным вычислительным трудностям при получении решений в виде частотных характеристик. Выход найден в использовании методов линеаризации и энергетического баланса, что позволяет получить выражения эквивалентных коэффициентов вязкостного (2) или позиционного (3) трения:

$$\eta_э = \frac{2\alpha}{\beta+1}\cdot\frac{1}{\xi_{ст}^{1-\beta}p}\ , \tag{2}$$

$$\eta'_э = \frac{\pi\alpha}{\beta+1}\cdot\frac{1}{\xi_{ст}^{1-\beta}}\ , \tag{3}$$

где p – циклическая частота колебаний элемента.

Распространяя принципы построения уравнения петли гистерезиса (1) на описание характеристик жесткости пневматических шин, листовых рессор и резиновых виброизоляторов, а также на описание рабочих диаграмм гидравлических амортизаторов, можно записать:

- уравнение неупругого сопротивления в шине

$$F = \pm H_ш h_{za}^n \sqrt{1-\left(\frac{h_z}{h_{za}}\right)^2}\ , \tag{2}$$

где h_z, h_{za} – текущее и амплитудное значение прогиба шины; $H_ш$, n – параметры модели;

- уравнение неупругого сопротивления в рессоре

$$F_р = \pm H_р X^m \sqrt{1-\left(\frac{x}{X}\right)^2}\ . \tag{3}$$

где x, X – текущее и амплитудное значения прогиба рессоры; $H_р$, m – параметры модели;

- уравнение неупругого сопротивления в виброизоляторе

$$F_э = H_э \delta_а^\nu \sqrt{1-(\delta/\delta_а)^2}, \tag{4}$$

где δ, $\delta_а$ – текущее и амплитудное значения деформации виброизолятора; $H_р$, ν – параметры модели;

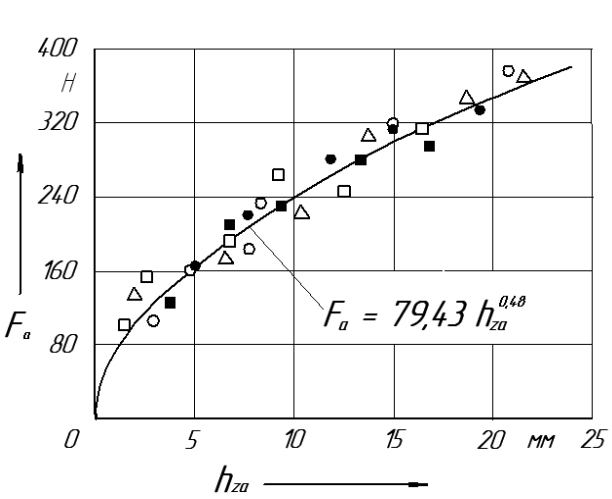
- уравнения неупругого сопротивления в амортизаторе

$$\left.\begin{aligned} P_{а.с} &= H_а S^\lambda V_п^l \sqrt{1-\left(\frac{s}{S}\right)^2} \text{ - на ходе сжатия;} \\ P_{а.о} &= H'_а S^{\lambda'} V_п^{l'} \sqrt{1-\left(\frac{s}{S}\right)^2} \text{ - на ходе отдачи,} \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

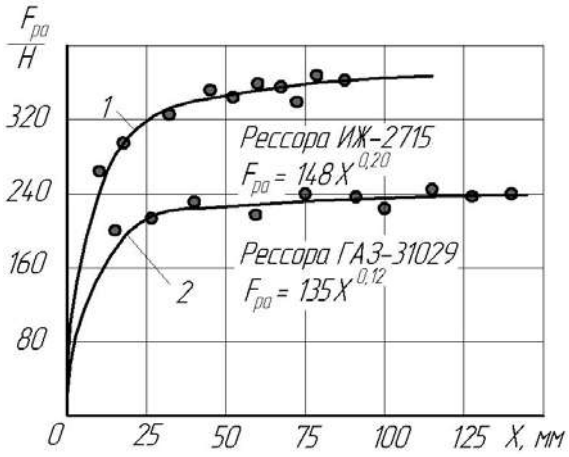
где s – текущее значение относительного перемещения поршня амортизатора: S, Vn – амплитудные значения перемещения и скорости поршня; $H_а$, λ, l, $H_а'$, λ', l' – параметры модели.

Отсюда вытекают задачи, стоящие перед экспериментальными исследованиями элементов подрессоривания и виброзащиты. Это выявление закономерностей между параметрами моделей (2)–(5) каждого элемента с одной стороны, и параметрами их нагружения, т.е. уровнем, частотой или скоростью нагружения, с другой. В этот ряд можно добавить параметры, характеризующие уровень технического состояния элементов подрессоривания и виброзащиты. Тогда теорию неупругого сопротивления можно использовать для разработки методов диагностирования пневматических шин, листовых рессор, гидравлических амортизаторов, виброизоляторов и подвески автомобиля в целом.

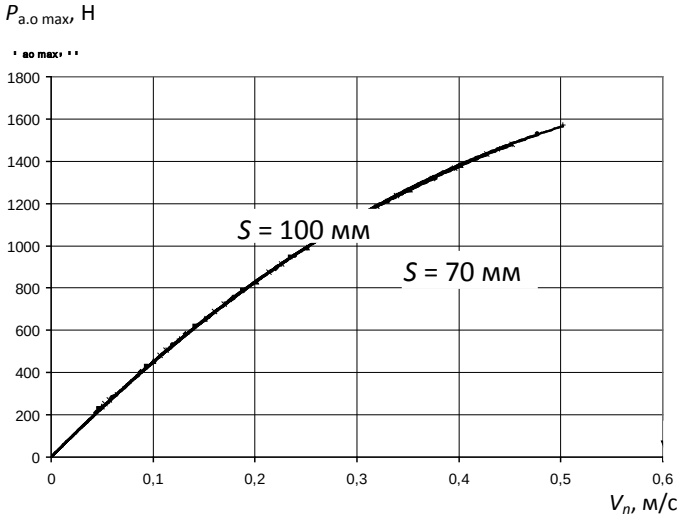
Образцы диаграмм с результатами обработки характеристик жесткости шин, рессор, амортизаторов и виброизоляторов представлены на рис. 8.



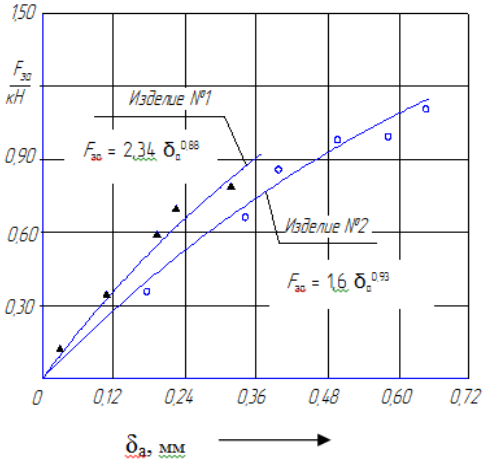
а)



б)



в)



г)

Рис. 8. Образцы диаграмм с результатами обработки:
а – характеристик жесткости шин; б – характеристик жесткости рессор; в – рабочих диаграмм амортизатора; г – характеристик жесткости виброизоляторов [3, 5, 9, 10]

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных на диаграммах (рис. 8), показал хорошую сходимость опытных данных к их аппроксимации степенными зависимостями (2)–(5), что подтверждает правильность положений эллиптическо-степенной теории неупругого сопротивления в технических системах.

Поскольку уравнения (2)–(5), отражающие силу неупругого сопротивления, являются нелинейным, то их ввод в дифференциальные уравнения даже простых колебательных систем приводит к значительным вычислительным трудностям при получении решений в виде частотных характеристик. Выход найден в использовании методов линеаризации и энергетического баланса, что позволяет получить выражения эквивалентных коэффициентов вязкостного $\eta_э$ или позиционного $\eta'_э$ трения. На примере уравнения (1) выражения эквивалентных коэффициентов трения запишутся в виде (6) и (7)

$$\eta_э = \frac{2\alpha}{\beta+1} \cdot \frac{1}{\xi_{ст}^{1-\beta} p} \ , \tag{6}$$

$$\eta_э' = \frac{\pi\alpha}{\beta+1} \cdot \frac{1}{\xi_{ст}^{1-\beta}} \ , \tag{7}$$

где p – циклическая частота колебаний элемента.

Наличие эквивалентных коэффициентов двух видов позволяет использовать их при решении дифференциальных уравнений колебаний автомобиля как операторным методом ($\eta_э$), так и численным методом ($\eta_э^{/}$).

Положения разработанной теории неупругого сопротивления, в первую очередь математическая модель (1), получившая название «эллиптическо-степенная модель (ЭСМ)», оказались применимы и для оценки поглащающих свойств пневматических шин в случае нагружения колеса несколькими силовыми факторами, включая нормальную нагрузку, либо при оценке неупругого сопротивления в шине в боковом или продольном направлениях. Такой подход позволяет строить более адекватные колебательные системы, эквивалентные автомобилю, при исследовании колебаний его масс в боковом направлении (криволинейное движение) или продольном (движение при разгоне или торможении).

Более того, опираясь на положения теории неупругого сопротивления применительно к пневматическим шинам, оказалось возможным разработать метод оценки сопротивления качению автомобильного колеса с выводом формулы для аналитического расчёта коэффициента сопротивления качению. Сущность этого метода базируется на допущении о том, что снос $a_ш$ нормальной реакции R, как результирующей сил взаимодействия шины с дорогой, относительно вертикали OZ, проходящей через ось вращения колеса, равен абсциссе центра тяжести криволинейного треугольника ABC (рис. 9).

Данный треугольник представляет собой эпюру нормальной составляющей радиальной нагрузки P_z, действующей в заданном сечении колеса при прохождении этого сечения через пятно контакта шины с дорогой. При этом боковые криволинейные стороны треугольника интерпретируются как ветви характеристики нормальной жесткости шины, развернутые по длине пятна контакта: левая – нагрузочная ветвь (выпуклая), правая – разгрузочная (вогнутая).

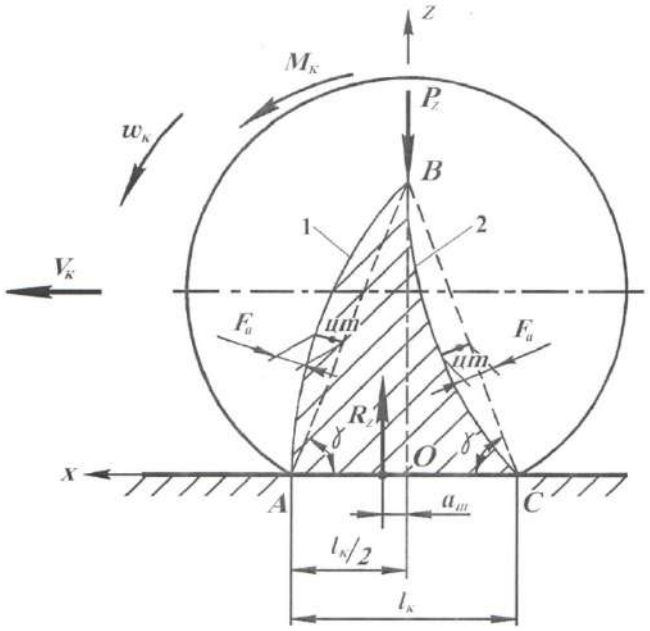


Рис. 9. Схема взаимодействия пневматической шины колеса с опорной поверхностью дороги и эпюра нормальной составляющей нагрузки, действующей в сечении шины по длине пятна контакта (заштрихованная фигура): - кривые нагружения (1) и разгружения (2) сечения реальной шины; -- кривые нагружения и разгружения идеально упругой шины; V_a, ω_k – поступательная и угловая скорости колеса; P_z, R – нормальная нагрузка на колесо и результирующая реакция опоры; l_k – длина пятна контакта; F_a – сила неупругого сопротивления; $a_ш$ – снос нормальной реакции [3–5]

Формула для расчета коэффициента сопротивления качению автомобильного колеса с пневматической шиной имеет вид:

$$f_c = \frac{2^{1-n} k_l H_ш h_{z\max}^{1+n}}{3\pi r_д P_z}, \quad (8)$$

где $H_ш$, n – параметры ЭСМ для конкретной шины; k_l – коэффициент; $r_д$ – динамический радиус колеса; $h_{z\ max}$ – полный нормальный прогиб шины.

Формула (8) применима для любых колесных машин, которые укомплектованы эластичными шинами.

Результатом прикладных исследований неупругого сопротивления в элементах подрессоривания и виброзащиты явились инновационные разработки конструкций пневматических шин, колес, гидравлических амортизаторов, листовых рессор и резиновых виброизоляторов с заданными характеристиками, повышающими эксплуатационные свойства автомобиля, такие как плавность хода, проходимость и снижающими вибронагруженность его конструкции. Большинство из этих разработок защищены российскими патентами [11–15, 17–27], а некоторые получили международное признание, на зарубежных выставках (60-я Международная выставка «Идеи-изобретения-инновации» IENA 2008г. Нюрнберг, Германия. Диплом)

Наиболее перспективными из них с возможностью реализации в виде натурных образцов являются: гидравлический амортизатор, адаптированный к низким температурам [22], и колесо с внутренней полимерной пружиной [23]. Последняя разработка позволяет повторно использовать выведенные из эксплуатации автомобильные покрышки для установки на тихоходном транспорте, что весьма актуально в силу огромного числа неутилизированных покрышек.

Разработанная теория и методы оценки неупругого сопротивления в автомобильной шине, элементах подвески и виброзащиты расширяют теорию движения автомобиля и позволяют научно обоснованно оценивать характер взаимодействия колесных движителей с неровностями дороги при исследовании плавности хода, устойчивости, управляемости, тяговой и тормозной динамики автомобиля, а также нагруженности несущей системы, трансмиссии, колес и дорожного полотна, а выполненные исследования и основанные на их результатах методы позволяют решать практические задачи расчетов, проектирования и испытания автотранспортных средств.

Литература:

1. Рыков С.П. Моделирование и оценка поглощающей и сглаживающей способности пневматической шины в расчетах подвески, плавности хода и подрессоривания автомобиля : монография / С.П. Рыков. – Братск : БрГТУ, 2004. – 124 с., ил.

2. Рыков С.П. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин. Испытательный комплекс, методики проведения экспериментов и обработки результатов: монография / С.П. Рыков. – Братск : БрГТУ, 2004. – 322 с., ил.

3. Рыков С.П. Методы моделирования и оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески и колебаний колесных машин / С.П. Рыков // Дисс. докт. техн. наук. – Москва : ФГУП «НАТИ», 2005. – 637 с.

4. Рыков С.П. Неупругое сопротивление в пневматических шинах. Моделирование, оценка, приложения : монография. – Братск : Изд-во БрГУ, 2015. – 444 с., ил.

5. Рыков С.П. Основы теории неупругого сопротивления в пневматических шинах с приложениями: монография / С.П. Рыков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Изд-во «Лань», 2017. – 440 с., ил.

6. Рыков С.П. Основы теории поглощающей способности автомобильных шин : монография / С.П. Рыков, В.С. Коваль, А.В. Камнев ; под общ. ред. С.П. Рыкова. – Братск : Изд-во БрГУ, 2018. – 302с., ил.

7. Рыков С.П. Основы теории сглаживающей способности автомобильных шин : монография / С.П. Рыков, В.С. Коваль, О.А. Рыкова ; под общ. ред. С.П. Рыкова. – Братск : Изд-во БрГУ, 2018. – 290 с., ил.

8. Рыков С.П. Экспериментальная оценка преобразующих своств автомобильных шин: монография / С.П. Рыков, В.В. Мазур ; под общ. ред. С.П. Рыкова. – Братск : Изд-во БрГУ, 2019. – 270 с.

9. Рыков С.П. Моделирование и оценка демпфирующей способности гидравлических амортизаторов : монография / С.П. Рыков, О.А. Рыкова. – Братск : Изд-во БрГУ, 2020. – 188 с.

10. Рыков С.П. Моделирование и оценка неупругого сопротивления в листовых рессорах : монография / С.П. Рыков, О.А. Рыкова. – Братск : Изд-во БрГУ, 2022. – 172 с.

11. А.с. 1515077 (СССР), МПК G01L 1/22. Устройство для измерения сил на колесе транспортного средства / Братский индустр. ин-т; авт. изобр. С.П. Рыков и В.Г. Мелентьев. – Заяв. 04.01.88; Опубл. 15.10.1989 г., бюл. № 38.

12. Пат. 2190539 RU/МПК[7], B06C 5/24, B60B 9/22 Колесо повышенного демпфирования / Братский гос. техн. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, М.В. Сапега. – Заяв. 01.09.2000; Опубл. 10.10.2002 г., бюл. № 28.

13. Пат. 2199102 RU/МПК[7], G01M 17/2 Способ построения характеристик радиальной упругости шины на вращающемся колесе и устройство для его осуществления / Братский гос. техн. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, В.Н. Тарасюк. – Заяв. 25.12.2000; Опубл. 20.02.2003 г., бюл. № 5.

14. Пат. 2245535 RU/МПК[7], G01M17/02 Способ построения характеристик радиальной упругости пневматической шины при комплексном нагружении колеса и устройство для его осуществления / Братский гос. техн. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, В.Н. Тарасюк. Заяв. 30.06.2003; Опубл. 27.01.2005 г., бил. № 3.

15. Пат. 2316685 RU/МПК[7], F16F 9/342, F16F 5/00 Амортизатор гидравлический с регулируемой характеристикой / Братский гос. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, С.С. Кадников. – Заяв. 29.06.2006; Опубл. 10.02.2008 г., бюл. № 4.

16. А.с. 2007613696 RU Модель случайного микропрофиля (Microprofile v. 1.0) / Братский гос. ун-т; авт. изобр. С.П. Рыков, Д.Ю. Жук. – Заяв. 17.07.2007 г.; Зарег. 29.08.2007 г.

17. Пат. 2327968 RU/МПК[7], G01M 17/02 Способ определения коэффициента сопротивления качению колеса с пневматической шиной и устройство для его осуществления / Братский гос. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, В.Н. Тарасюк. – Заяв. 10.05.2006 г.; Опубл. 27.06.2008 г., бюл. № 18.

18. Пат. 2402703 RU/ МПК F16F5/00, F16F9/16 Амортизатор гидравлический с регулируемой характеристикой / Братский гос. ун-т; С.П.Рыков, П.Н. Стемплевский, И.А. Хозяшев. – Заяв. 08.07.2009 г.; Опубл. 27.10.2010 г., бюл. № 30.

19. Пат. 2452628 RU/МПК B60B9/28, B60C7/18. Устройство для повышения проходимости колесных машин / Братский гос. ун-т; С.П.Рыков, В.Н.Тарасюк, А.В Камнев, И.А. Хозяшев. – Заяв. 17.11.2010 г.; Опубл. 10.06.2012 г., бюл. № 16.

20. Пат. 2452882 RU/МПК F16F3/12, F16F15/08 Виброизолятор с постоянной частотной характеристикой/ Братский гос. ун-т; С.П.Рыков, А.В Камнев, И.А. Хозяшев. – Заяв. 12.11.2010 г.; Опубл. 10.06.2012 г., бюл. № 16.

21. Пат. 2457117 RU/МПК B60C11/16, B60B15/10 Колесо с выдвижными шипами / Братский гос. ун-т; С.П.Рыков, В.Н.Тарасюк, А.В Камнев, И.А. Хозяшев. – Заяв. 12.11.2010 г.; Опубл. 27.07.2012 г., бюл. № 21.

22. Пат. 2490529 RU/МПК F16F9/52 Гидравлический амортизатор, адаптированный к низким температурам / Братский гос. ун-т; Рыков С.П., Куприянов А.П., Хозяшев И.А. – Заявл. 07.12.2011 г.; Опубл. 20.08.2013 г., бюл. № 23.

23. Пат. 2501663 RU/МПК B60B 9/02 Колесо с внутренней полимерной пружиной / Братский гос. ун-т; С.П. Рыков, И.А. Хозяшев, С.Н.Тетерин, А.В. Сницарев. – Заяв. 11.07.2012 г.; Опубл. 20.12.2013 г., бюл. № 34.

24. Пат. 2501664 RU/МПК B60B 9/12 Бескамерное колесо с элементами подрессоривания / Братский гос. ун-т; С.П. Рыков, И.А. Хозяшев, С.Н. Тетерин, А.В. Сницарев. – Заяв. 11.07.2012 г.; Опубл. 20.12.2013 г., бюл. № 35.

25. Пат. 2506471 F16F1/36, F16F9/02 Адаптивный виброизолятор / Братский гос. ун-т; С.П. Рыков, В.В. Мазур, И.А. Хозяшев, Р.А. Хозяшев, А.В. Камнев. – Заяв. 27.04.2012 г.; Опубл. 10.02.2014 г., бюл. № 4.

26. Пат. 2506472 F16F1/371, F16F3/10 Виброизолятор для транспортно-технологических машин / Братский гос. ун-т; С.П. Рыков, В.В. Мазур, И.А. Хозяшев, Р.А. Хозяшев, В.А. Егоров. – Заяв. 27.04.2012 г.; Опубл.10.02.2014 г., бюл. № 4.

27. Пат. на полезную модель121880 RU/МПК F16F1/373 Полиуретановый виброизолятор / Братский гос. ун-т; С.П.Рыков, А.В Камнев, И.А. Хозяшев, Р.А. Хозяшев. – Заяв. 27.04.2012; Опубл. 10.11.2012 г., бюл. № 31.

Development of applied theories and research methods – as a result of creation and application unique experimental equipment

Rykov S.P.[1,a], Mazur V.V.[1,b], Rykova O.A.[1,c]

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia
[a]rsp7-8-48@rambler.ru, [b]mazurvv@yandex.ru, [c]olga.tonoyn@mail.ru

Keywords: applied theory, inelastic resistance, research methods, experimental equipment, automobile tire, suspension elements, vibration protection.

The article gives a brief overview of the formation of the scientific school of the Department of "Automobile Transport" and the solved problems of the main directions of applied research and innovative developments. The elliptical-power theory of inelastic resistance in automobile tires and its application to leaf springs, hydraulic shock absorbers and rubber vibration isolators, as well as to the evaluation of the coefficient of rolling resistance of the wheel are described in more detail. The description of the experimental base of the department and the original designs of the suspension elements of the car is given.

УДК 629.1

Ремни привода вспомогательных агрегатов автомобилей

Перекрестов А.М.[1,a]

[1]Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти,
ул. Белорусская, 14
[a]lilepap@mail.ru

Ключевые слова: автомобиль, двигатель, привод вспомогательных агрегатов, эластичный ремень, неэластичный ремень.

В данной статье приведены виды ремней привода вспомогательных агрегатов двигателя на автомобиле. Существуют ремни двух типов: эластичные и неэластичные ремни. Эластичные ремни способны растягиваться и возвращаться в исходное состояние, что обеспечивает более плавную работу вспомогательных агрегатов. Неэластичные ремни не растягиваются и обеспечивают более надежную передачу вращения т двигателя к вспомогательным агрегатам. Обеспечение работы современного двигателя осуществляется посредством привода вспомогательных агрегатов. Составляющей привода вспомогательных агрегатов являются: кронштейн, ремни, агрегаты, ролики, и все это составляет единый, взаимосвязанный механизм, где одно без другого не будет работать. Рассмотрены особенности работы ремня привода вспомогательных агрегатов, который должен выдерживать прикладываемую к нему нагрузку от роликов и шкивов привода.

В современное время в нашем мире на рынок поставляются новые автомобили от разных производителей со всех частей света. Большая команда инженеров разных компаний и альянсов ежедневно трудится над проектированием доступных автомобилей для

потребителей. Задача инженера – спроектировать надежный и долговечный автомобиль, отвечающий потребительским свойствам, будь то легковой автомобиль для повседневного использования по городу или грузовой автомобиль, выполняющий перевозки габаритных грузов на дальние расстояния.

Неотъемлемой частью автомобиля является двигатель внутреннего сгорания, передающий крутящий момент на ходовую часть (колеса) через трансмиссию. В конструкцию двигателя входят навесные агрегаты. Один из самых необходимых вспомогательных агрегатов – это генератор.

Механическую энергию на генератор передает коленчатый вал двигателя через вращательное движение с помощью ремня привода вспомогательных агрегатов, далее генератор вырабатывает ток, дающий стабильную зарядку на аккумулятор. Со временем на автомобили стали добавлять более новые навесные агрегаты: компрессор кондиционера, насос ГУР, также может входить в привод вспомогательных агрегатов водяной насос. Из-за новых потребителей стали применять более мощные генераторы, все эти нововведения приводят к усложнению схемы привода вспомогательных агрегатов.

По рекомендациям из методик проектирования [1] привода вспомогательных агрегатов следует, что минимальный участок между двумя шкивами должен быть не менее 60 мм, но и слишком длинная ветвь между шкивами может привести к биению ремня. Для обеспечения выполнения рекомендаций по проектированию привода вспомогательных агрегатов применяют натяжные и опорные ролики, что позволяет ремню их огибать и уменьшать длину ветви ремня.

В современном автомобилестроении применяют поликлиновые ремни [2] привода вспомогательных агрегатов. Поликлиновые ремни выполняются с разными профилями сечения: PJ, PK, PH. Также есть эластичные и неэластичные ремни.

Эластичные ремни состоят из резинового материала с добавлением прочных синтетических волокон. Эти ремни способны растягиваться и возвращаться в свое исходное состояние, что позволяет им обеспечивать более плавную работу вспомогательных агрегатов. Резиновый материал обычно покрывается защитным слоем для увеличения срока службы ремня.

Неэластичные ремни состоят из резинового материала, покрытого слоем прочной ткани или стальной арматуры. Эти ремни не растягиваются и не могут обеспечивать такую плавность работы вспомогательных агрегатов, как эластичные ремни. Однако они могут выдерживать большие нагрузки и обеспечивать более надежную передачу вращения от двигателя к вспомогательным агрегатам.

Различия между эластичными и неэластичными ремнями привода вспомогательных агрегатов касаются, прежде всего, их способности растягиваться и возвращаться в исходное состояние, что влияет на плавность работы вспомогательных агрегатов. Кроме того, неэластичные ремни могут быть более прочными и надежными, но менее гибкими, чем эластичные ремни.

Из практического анализа, можно сделать вывод о том, что для сложной схемы привода вспомогательных агрегатов самым лучшим вариантом является эластичный ремень. Неэластичные ремни не такие гибки, как эластичные, в связи с малым углом охвата шкивов и постоянными перегибами происходит надрыв ручьев ремня в статической нагрузке при работе двигателя. Неэластичные ремни не так подвергаются растягиванию, и на рисунке 1 можно увидеть результат работы неэластичного ремня в сложной схеме привода вспомогательных агрегатов.

Рис. 1. Надрыв ручьев неэластичного ремня

При продолжительной работе неэластичного ремня в многосоставном приводе вспомогательных агрегатов может привести к выходу из строя двигателя внутреннего сгорания. Вырванные ручьи ремня начинают повреждать другие узлы и детали силовых агрегатов. Такая поломка вынуждает отправить автомобиль на принудительную замену ремня привода вспомогательных агрегатов как минимум. Если не предпринять заранее решение по замене ремня, могут выйти из строя другие детали, например, проводка двигателя, что приводит к полному отказу работы двигателя. На рисунке 2 представлено последствие работы неэластичного ремня в сложной схеме привода вспомогательных агрегатов, что привело к поломке проводки генератора.

Рис. 2. Последствия использования неэластичного ремня

Неэластичные ремни – это старый век ушедших технологий. Неэластичные ремни широко распространены в промышленности для передачи высоких мощностей при высоких оборотах двигателя, в том числе для привода насосов и вентиляторов, где привод упрощен и не возникают дополнительные усилия на ремень.

Можно сделать вывод, что в приводе вспомогательных агрегатов автомобилей целесообразней и надежнее использовать эластичные ремни, а от неэластичных ремней отказаться в силу их недостаточной надежности при работе в сложных приводных системах.

Литература

1. Фрейзер Лейси, Черри Ричард Энтони, Блэк Джон В. Система ременного. URL:https://elibrary.ru/item.asp?id=37549386 (дата обращение 29.03.2023).

2. Куклин Н. Г., Куклина Г. С. Детали машин: Учебник для заочных техникумов/При участии О. Н. Росковой. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. Школа,1979 -311 с., ил.

Belts of auxiliary units drive in automobiles

Perekrestov A.M.[1,a]

[1]Togliatti State University, 14 Belorusskaya St., Togliatti, Russia, 445020
[a]ilepap@mail.ru

Keyword: vehicle, engine, accessory drive, elastic belt, non-elastic belt.

This article describes the types of engine accessory belts on a vehicle. There are two types of belts: elastic and inelastic belts. Elastic belts are capable of stretching and returning to their original state, which provides smoother operation of the accessory units. Inelastic belts do not stretch and provide a more reliable transfer of rotation from the engine to the accessory units. The modern engine is operated by means of the accessory drives. The components of the accessory drives are: bracket, belts, aggregates, pulleys, and all of these constitute a single, interrelated mechanism, where one will not work without the other. Consider the characteristics of the accessory drive belt, which must withstand the load applied to it by the drive rollers and pulleys.

УДК 656.01

Повышение комфортности и безопасности жизнеобеспечения автотуристов

Соколовский А.Я.[1,a], Соколовская Е.А.[1,b]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», квартал Молодежный 20А, г. Луганск, ЛНР, Россия
[a]afalcovsky@mail.ru, [b] sokolik_lena@mail.ru.

Ключевые слова: караванинг, питьевая вода, водоподготовка, источники водоснабжения, обеззараживание.

В статье рассматривается инновационный для России вид туризма – караванинг. Подробно анализируется его жизнеобеспечение. В современных условиях для России важно развивать внутренний туризм, и караванинг в данной ситуации является решением. В ходе исследования были выявлены некоторые проблемы, возникающие у автотуристов во время

путешествия, связанные с безопасностью жизнедеятельности, которые могут испортить отдых и нанести ущерб здоровью.

В статье представлен способ, как самостоятельно обеспечить дом на колесах во время путешествия чистой, безопасной для здоровья питьевой водой.

В результате данная статья закладывает основу для дальнейших исследований проблем жизнеобеспечения караванинга в России.

Введение. Караванинг – инновационный вид туризма, связанный с передвижением и проживанием в доме на колесах.

Автомобильный туризм (автотуризм, караванинг) – сложный, активный вид отдыха, наряду с классическим туром, является одним из форматов путешествия предполагающий передвижение и проживание в домах на колесах.

Караванинг как самостоятельная форма автотуризма имеет свою определенную специфику, которая основана на различных знаниях, навыках, умениях и способностях. Караванер должен знать инфраструктуру, иметь навыки управления крупногабаритным транспортным средством, навыками и способностями пользования и обслуживания систем жизнеобеспечения дома на колесах.

В сравнении с обычным автотуризмом, у караванинга больше возможностей, так как он предполагает автономный формат как проезда так и проживания, особенно подходит для масштабных и дальних автопутешествий.

Изложение основного материала. Путешествуя в формате караванинга турист абсолютно свободен и не ограничен в своих поездках, в отличии от традиционных путешественников. По ходу путешествия у караванеров отпадает необходимость в бронировании гостиниц по пути, в тоже время у них остается их привычная домашняя атмосфера, так как автомобильные дома оснащены всем необходимым оборудованием, сохраняя привычный домашний уют. Караванеры по своему усмотрению устанавливают график путешествия, место и количество стоянок. Он может спокойно более глубоко погружаться в культуру страны посещения, полностью и многогранно познавать ее живописные окрестности и достопримечательности, сократив при этом свои расходы и сохранив значительную часть своего бюджета в связи с отсутствием трат на проживание.

Одним из преимуществ путешественников со своим домом является возможность караванеров останавливаться по своему выбору в специальных, для этого предназначенных зонах – кемпингах либо на облюбованных площадках вне населенных пунктов и имеют возможность проживать в различных местах стран без регистрации по месту проживания, не ограничивая своего выбранного туристского направления.

При выборе мест отдыха автотуристы отдают предпочтение остановкам в местах с нетронутой природой, живописными пейзажами, вблизи водоемов и рек.

У караванеров сформировалась своя собственная философия, которую можно сформулировать, как – «Все свое вожу с собой», «Где остановился там и дом» и кодекс неписаных правил:

- кемпер – полноценный в привычном понимании дом;

- не отказываться от привычного быта. Машино-дом не только транспортное средство. Его внутреннее обустройство должно позволять вести нормальную жизнь, включающую в себя приготовление пищи, сон, туалетные процедуры, использование средств массовой коммуникации и общение внутри семьи.

Для жизни на колесах нужно не так уж много. Из удобств по минимуму стандартная бюджетная модель включает: кухню с газовой плитой, холодильник, умывальник, душевую кабину, биотуалет, систему отопления, водные резервуары, диван, пара кресел, стол, шкаф.

Современный дом на колесах оборудован телевизором, приставкой, кондиционером, солнечными батареями.

Для успешного осуществления автопутешествия необходима серьезная, требующая внимания тщательная подготовка.

Иными словами, чтобы не испытывать неудобств в дороге, весь жизненный цикл во время путешествия (маршрут путешествия, цель путешествия, питание, топливо, вода) весь комфорт автотуриста зависит от самого караванера.

В доме на колесах повседневно должна быть вода. Вода наряду с воздухом имеет первостепенное значения для поддержания жизни и здоровья человека.

Человек на 70% состоит из воды – это истина, не требующая доказательств и прожить без нее может лишь короткое время.

Для хранения воды в домах на колесах предусматриваются алюминиевые баки емкостью 50-70 литров. Автопутешественники пополняют свой запас питьевой воды во время путешествия из различных источников. Это может быть водопроводная вода из городской водопроводной сети, поверхностные источники (родники, колодцы, горные ручьи и пр.).

Питьевая вода из поверхностных источников, особенно весной и летом, временно или периодически не соответствует стандартам по цвету, мутности, содержанию общих органических веществ (перманганатная окисляемость) железу, марганцу. В питьевой воде из подземных источников, которые не соответствуют первому классу качества, постоянно регистрируются сверхнормативные уровни с 2-3 до 5-6 химических веществ (минерализация, жесткость, сульфаты, хлориды, железо, марганец, нитраты, аммиак, фтор).

В некоторых случаях наблюдается содержание кишечной палочки.

Использование воды из непроверенных источников может нанести вред здоровью путешественников и испортить весь отдых.

С целью минимизации рисков нанесения ущерба здоровью связанным с употреблением некачественной воды, авторами разработано и запатентовано устройство, приведенное на рис. 1. (Патент №179 020) [1].

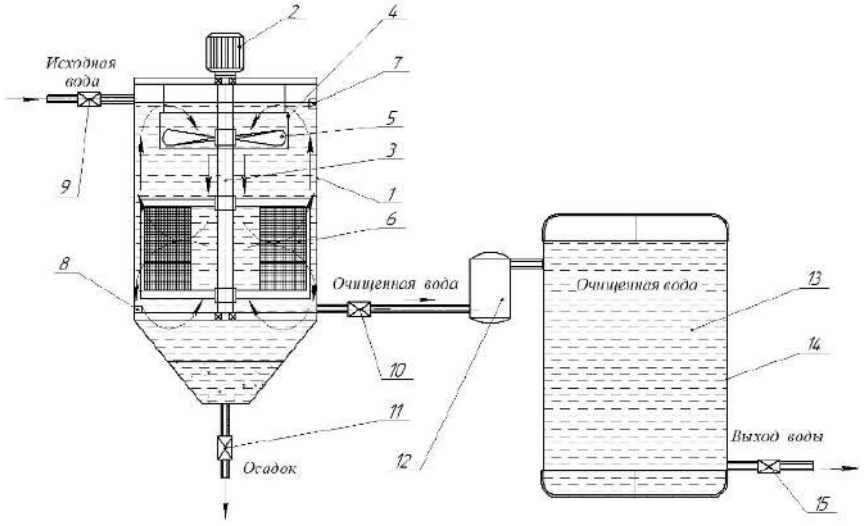


Рис. 1. Устройство водоподготовки:
1 – реактор; 2 – привод; 3 – вертикальный вал; 4 – диффузор; 5 - лопасти осевого нагнетателя; 6 – картридж; 7 и 8 – датчики уровней воды; 9, 10 и 11 – задвижки, 12 – фильтр, 13 – очищенная питьевая вода, 14 – бак очищенной воды; 15 – кран отбора воды

Работа устройства заключается в следующем. Электродвигатель вращает вал с лопастями осевого нагнетателя и лопастями-картриджами. При вращении осевой нагнетатель гонит поток воды вниз к лопастям-картриджам, которые преобразуют вертикальный поток в радиальный. Вода, попав на кассеты, с минералом пройдя через его полидисперсный слой отбрасывается к стенкам реактора. Достигнув стенок реактора 1, вода поднимается в верхнюю часть и пройдя через диффузор снова попадает на лопасти осевого нагнетателя и направляется вниз к кассетам. Течение жидкости в слое минерала происходит в межчастичном пространстве слоя омывая все грани поверхности зерен минералов. В результате интенсивной циркуляции всей массы воды в следствии гидромеханической

обработки исходного объема воды путем многократной циркуляции через его механический вращающийся рабочий орган с наполнителем происходит интенсивная обработка воды [2].

В качестве наполнителей для картриджей можно использовать природные минералы: шунгит, оксид кремния (SiO_2), цеолит, доломит и некоторые другие.

Рассмотрим некоторые из этих минералов с наиболее уникальными свойствами.

Шунгит (SiC) — уникальная порода фуллереноподобного углесодержащего природного минерала. Минерал представляет собой окаменевшее вещество органических донных отложений (планктона, водорослей, донных осадков и других микроорганизмов), которые миллиарды лет уплотнялись, спрессовывались и обезвоживались. По структуре шунгит представляет собой аллотропную форму метастабильного углерода, находящегося на предграфитовой стадии углефикации [3]. Кроме углерода в состав шунгита входят (табл. 1)

В небольших количествах содержится: Бор (B) – (0,004 масс. %), Ванадий (V) – (0,015 масс. %), Кобальт (Co) – (0,00014 масс. %), Медь (Cu) – (0,0037 масс. %), Молибден (Mo) – (0,0031 масс. %), Мышьяк (As) – (0,00035 масс. %), Стронций (Sr) – (0,001 масс. %), Никель (Ni) – (0,0085 масс. %), Хром (Cr) – (0,0072 масс. %), Цинк (Zn) – (0,0067 масс. %), Свинец (Pb) – (0,0225 масс. %) [4].

Способность минерала очищать воду известна с незапамятных времен. Шунгит обладает широким спектром бактерицидных свойств; он адсорбционно активен по отношению к некоторым бактериальным клеткам, патогенным сапрофитам, фагам.

Вода, прошедшая через шунгит, обладает общим оздоравливающим воздействием на организм, эффективна при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, камнях в почках и др. [6].

Таблица 1

Химический состав шунгитов (масс. %) [4, 5]

№	Химический элемент, компонент	Формула компонента	Содержание, масс. %
1	Углерод	(C)	30,0
2	Оксид кремния	(SiO_2)	57,0
3	Оксид титана	(TiO_2)	0,2÷0,24
4	Оксид аллюминия	(Al_2O_3)	4,0÷4,5
5	Оксид железа (III)	(FeO)	0,6÷1,01
6	Оксид железа (II)	(Fe_2O_3)	0,32÷1,49
7	Оксид магния	(MgO)	0,56÷1,2
8	Оксид марганца	(MnO)	0,15
9	Оксид кальция	(CaO)	0,3÷1,23
10	Оксид натрия	(Na_2O)	0,2
11	Оксид калия	(K_2O)	1,23÷1,5
12	Сера	(S)	0,37÷1,2
13	Оксид фосфора	(P_2O_3)	0,03
14	Вода	H_2O	1,7÷1,76

Исследованиями Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья имени Н.М. Федоровского установлено, что шунгит уступает активированному углю лишь низкой пористостью, только на начальном этапе, в течение первых 24÷25 часов

фильтрации, но в последствии «набирает обороты». Очистка воды происходит с большей и постоянной скоростью, чем при очистке с использованием активированного угля [6].

Проводя параллель шунгит – активированный уголь в разрезе антиоксидантных свойств по отношению к хлорорганическим соединениям и свободным радикалам доказано МХТУ им. Д.И. Менделеева и ВМА имени С.М. Кирова, что при пропускании воды через шунгит свободные радикалы выводятся из нее в 30 раз эффективнее, чем при фильтровании через активированный уголь [8].

Шунгит является уникальным сорбентом обладающим рядом уникальных положительных свойств: высокой адсорбционной способностью и технологичностью ввиду малого сопротивления напора жидкости; механической прочностью и малой истираемостью; способностью к сорбции многих веществ, как органических (нефтепродуктов, бензола, фенола, пестицидов и др.) так и неорганических (хлор, аммиак, тяжелые металлы); каталитической активностью; сравнительно низкой стоимостью; экологической чистотой и безопасностью.

Все вышеперечисленные качества позволяют использовать шунгит в качестве материала фильтра для очистки воды от органических и хлорорганических веществ. Шунгит абсорбирует на своей поверхности до 95 % загрязнителей, включая хлорорганические соединения, фенолы, диоксины, тяжелые металлы, радионуклиды и др., устраняет мутность и цветность воды, придает воде хорошие органолептические качества, одновременно насыщая ее микро и макроэлементами. Показатели эффективности фильтров на основе шунгита представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели эффективности фильтров на основе шунгита [4, 5]

№	Вид загрязнения	Формула компонента	% очистки
1	Железо	(Fe)	95
2	Цинк	(Zn)	80
3	Цезий	(Cs)	90
4	Медь	(Cu)	85
5	Стронций	(Sr)	97
6	Фтор	(F)	80
7	Свинец	(Pb)	85
8	Аммиак	(NH_3)	90
9	Диоксин		97
10	Хлорорганические соединения		85
11	Радионуклиды		90
12	Яйца гельминтов		90
13	Фенолы		90
14	Мутность		95
15	Запах		85

Кроме этого, шунгит, обладая выраженными бактерицидными свойствами, эффективно обеззараживает питьевую воду этим минералом при водоподготовке и водоочистке. Отмечена его активность по отношению к патогенным сапрофитам и простейшим.

По данным исследований шунгит губительно действует на простейшие (инфузории, коловратки, ракообразные) и патогенную кишечную палочку. При пропускании воды через шунгит наблюдается почти полное удаление последней (колииндекс изменяется от 2300 кл/л до 3 кл/л). Простейшие наблюдались лишь в единичных экземплярах [7].

Минерал кремний — один из минералов, в основе которого двуокись кремния (SiO_2), представляет собой природное минеральное образование черного, темно - серого (за счет примесей органических веществ, светло – серого, бурого, а также с красноватым или коричневатым оттенком, обусловленное присутствием красящих оксидов разных элементов. Кремний является постоянным компонентом химического состава природной воды. Небольшая концентрация содержания кремния в воде поясняется малой растворимостью горных пород. Основным источником соединений кремния в природных водах является процесс химического выветривания и растворения минералов содержащих кремний. Поэтому природные воды с концентрацией кремния 10-50 мг/дм^3 используются в лечебных целях [9].

Происхождение кремня — органогенное: т. е. кремень образовался при отмирании колоний живых организмов, сохраняя в своем составе их раковины и скелеты. Он зарождался в теплых водоемах мелового периода, в эпоху великих перемен, когда появились привычные нам формы жизни.

Кремний регенерирует воду превращая ее в жидкость с уникальными свойствами. Он, как и шунгит, обладает значительными бактерицидными свойствами. После насыщения воды кремнием она очищается, губительно действует на микроорганизмы, подавляет бактерии, вызывающие брожение и гниение, долго сохраняется и не портится. Минерал улучшает вкусовые качества воды придавая ей вкус и свежесть родниковой воды и бактерицидные свойства воды обогащенной ионами серебра, не вызывает при этом такое побочное явление как повышение кислотности желудочного сока.

По физико-химическим свойствам кремнистые породы представляют собой ценный природный агрегат, обладающий целым набором полезных свойств. Среди них - адсорбционная способность, высокая пористость, термостойкость, гидравлическая активность, химическая стойкость к кислотам и щелочам, а также способность к насыщению воды кремнием. Благодаря этому кремнистые породы применяют в качестве добавок, адсорбентов, наполнителей, фильтров, катализаторов, для производства изделий из керамики, сельском хозяйстве, а также в литотерапии и медицине [9].

Насыщенная микроскопическими дозами двуокиси кремния вода может служить естественным путем пополнения кремния в организме, который играет огромную роль в развитии всего живого. Органические остатки отмерших колоний живых организмов мелового периода – уникальные биокатализаторы в десятки раз ускоряют окислительно-восстановительные реакции в водных растворах нашего тела. Они являются структурой для построения сложных органических соединений – первоначалом живого организма: гемоглобина и хлорофилла. Создают условия для восстановления здоровых, жизнеобеспечивающих, процессов благотворно воздействующих на организм.

Выводы. При сочетании использования шунгита и кремния в описанном устройстве очищаемая вода обогащается до физиологически оптимальных значений необходимых организму человека микроэлементов, которые в целом соответствуют методическим рекомендациями Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [10].

Таким образом, экологичность, широкая отечественная сырьевая база, эффективность водоочистки от загрязнений любой природы, обогащение полезными элементами, к тому же невысокая стоимость фильтрующего материала и технологий водоочистки, использующих шунгит и кремний дают возможность туристам-караванерам самостоятельно обеспечить себя во время путешествия чистой, безопасной для употребления, обогащенной необходимыми для жизнедеятельности человека микроэлементами водой.

Литература:

1. Патент на полезную модель: (19) RU (11) 179 020(13) U1, СПК C02F 1/68 (2006.01); C01B 33/12 (2006.01); B01F 7/04 (2006.01); B01F 7/18 (2006.01) Устройство для обогащения воды кремнием / Соколовский А.Я., Нечаев Г.И., Соколовская Е.А.; Патентообладатель(и): Соколовский А. Я., Заявка: 2017109000, 17.03.2017, опубликовано: 25.04.2018 Бюл. № 12.

2. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А. Улучшение качества очищенных шахтных вод путем обогащения их микроэлементами / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля – 2018 – №3 [9] – С. 120-127.

3. Перфенева Л.С., Волконская Т.Н., Тихонов В.В. Теплопроводность, теплоемкость и термоэдс шунгитового углерода /Л.С. Перфенева, Т.Н. Волконская, В.В. Тихонов // Физика твердого тела ,1994. Т.36. №4 С.1150-1153.

4. Мосин О.В. /Новый природный минеральный сорбент – шунгит// Сантехника. 2011. №3. С.34-36.

5. Мосин О.В., Игнатов И. Состав и структурные свойства фулеренсодержащего минерала шунгита /О.В. Мосин, И. Игнатов // Нано и микросистемная техника. 2013. Т 1 С. 32-40.

6. Хадарцев А.А., Туктамышев И.Ш. Шунгиты в медицинских технологиях / А.А. Хадарцев, И.Ш. Туктамышев// Вестник новых медицинских технологий. 2002. . Т.9. №2. С.83-86.

7. Панов П.Б., Калинин А.И., Сороколетова Е.Ф., Кравченко Е.В., Плахотская Ж.В., Андреев В.П. Использование шунгитов для очистки питьевой воды. — /Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007.

8. Калинин Ю.К. Экологический потенциал шунгита /Сб. «Шунгиты и безопасность жизнедеятельности человека». Мат. I-й Всерос. науч. практ. конф. (3–5.10.2006) / Под ред. Ю.К. Калинина. — Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. С.5-10.

9. Малярчиков А.Д. Кремень и человечествоили кремень вновь обретает славу./А.Д. Малярчиков// М.: АМК «ИТМО им. А.В. Лыкова», 1998, -352 с.

10. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации: - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.-36 с.

Increasing the comfort and safety of the life support of autotourists

Sokolovsky A.Y.[1,a], Sokolovskaya E.A.[1,b]

[1] Federal state budgetary educational institution of higher education "Vladimir Dahl Lugansk state university", 20A Molodyozhny quarter, Lugansk, LPR, Russia
[a]afalcovsky@mail.ru, [b] sokolik_lena@mail.ru.

Keywords: caravanning, drinking water, water treatment, water supply sources, disinfection.

The article considers an innovative type of tourism for Russia - caravanning. His life support is analyzed in detail. In modern conditions, it is important for Russia to develop domestic tourism, and caravanning in this situation is the solution. The study identified some of the life safety problems that autotourists face while traveling, which can ruin their vacation and damage their health.

The article presents a way to independently provide a motorhome while traveling with clean, safe drinking water.

As a result, this article lays the foundation for further research on the life support problems of caravanning in Russia.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

УДК 62-336

К вопросу сопоставления результатов полученных аналитическим путем и при конечно-элементном моделировании

Белоголов Ю.И.[1, a]

[1] Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, г. Иркутск, Россия
[a] belogolov_yi@irgups.ru

Ключевые слова: тонкостенное уплотнение, оболочка, напряженно-деформированное состояние, расчеты на прочность, моделирование, APM WinMachine, MSC.vN4W (Femap).

В статье представлены основные этапы моделирования тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла клапана и особенности приложения нагрузки в системах конечно-элементного анализа APM WinMachine и MSC.vN4W (Femap). Оболочечно-пластинчатый элемент нагружается золотником за счет усилия, создаваемого приводной частью клапана, давление рабочей среды при этом отсутствует. Проведя аналитические вычисления по разработанной методике (в статье не приводится) и, получив значения перемещений тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла, было выполнено его моделирование. В качестве одной из основных особенностей, которая была выявлена в процессе моделирования тонкостенного элемента, можно выделить работу модуля APM Structure 3D системы APM WinMachine в котором отсутствует возможность задания нагрузки Q по нормали к поверхности оболочечного элемента. В связи с этим модель была доработана за счет использования вторичных (фиктивных) элементов. В конце статьи результаты, полученные при моделировании в APM WinMachine и MSC.vN4W (Femap), сравниваются с аналитическими расчетами, а также между собой и делается вывод.

Введение. Использование систем автоматизированного расчета и проектирования позволяет моделировать конструкции различной сложности. Основными преимуществами таких автоматизированных систем является: сокращение времени выполнения расчетов, затрат при экспериментальных исследованиях, получение подробных и достоверных результатов.

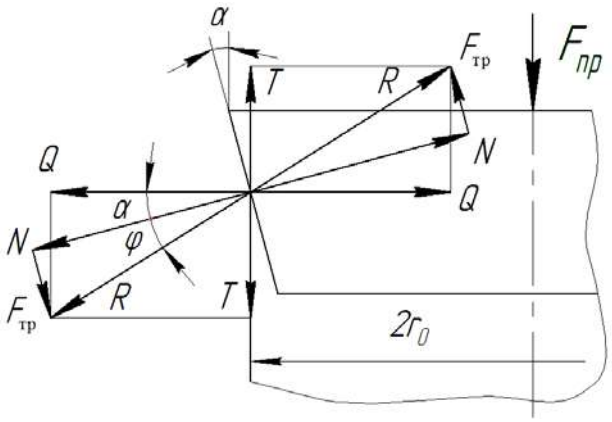
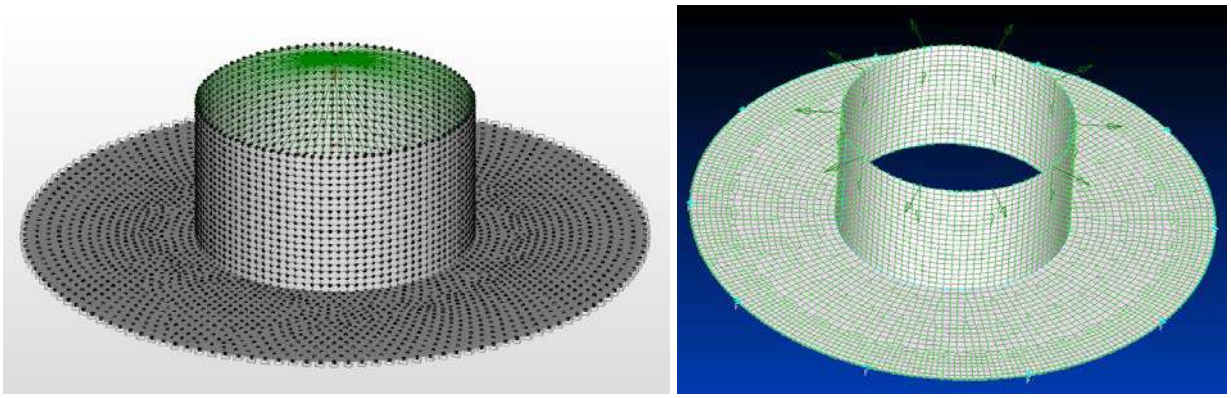


Рис. 1. Расчетная схема нагружения седла

$F_{пр}$ – усилие, с которым затвор вдавливается в седло; N – нормальная реакция в зоне контакта; $F_{тр}$ – сила трения в зоне контакта; R – полная реакция в зоне контакта; α – половина угла при вершине конуса золотника; φ – угол трения

Моделирование тонкостенного седла. Рассмотрим моделирование тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла клапана [1–3], расчетная схема которого представлена на рис. 1. Конечно-элементные модели седла [4] с приложенной нагрузкой $F_{пр}$, построены в APM WinMachine и MSC.vN4W (Femap) соответственно и представлены на рис. 2.



а) *б)*

Рис. 2. КЭ модель седла
а – APM WinMachine; б – MSC.vN4W

При моделировании тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла необходимо учитывать особенности и возможности применяемой системы. Например, возможности модуля APM Structure 3D (APM WinMachine) при задании радиальной нагрузки *Q* к узлам КЭС ограничены глобальной системой координат, поэтому невозможно задать нагрузку по нормали к поверхности оболочки [5]. Задание распределенной нагрузки на пластины (при моделировании с помощью пластин) или solid-элементы (при твердотельном моделировании) в данном случае неправильно, так как контакт золотника с седлом клапана происходит по линии. Поэтому, нагружение седла сводится к приложению нагрузок в узлах КЭ сетки модели с приложением полной реакции *R*.

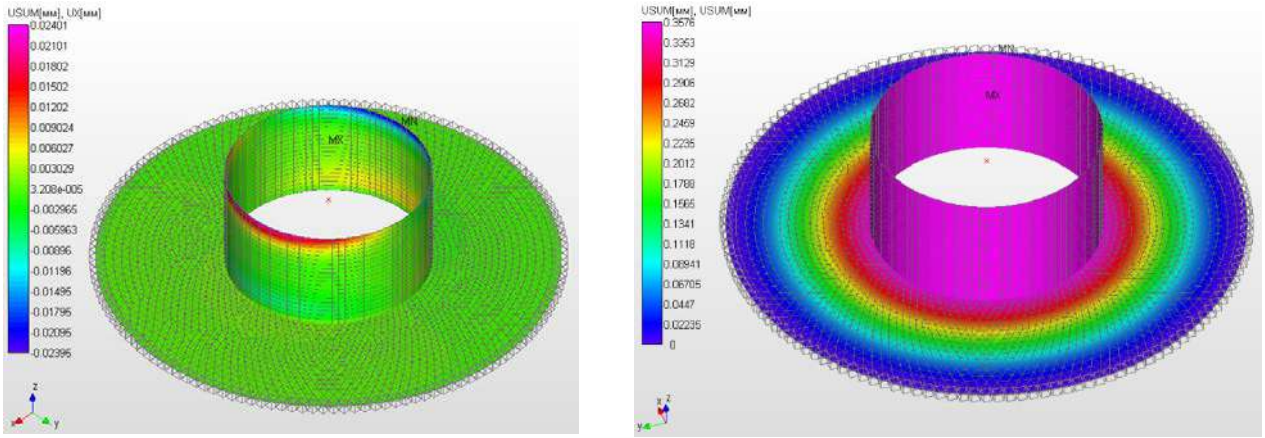


Рис. 3. Карта перемещений, полученная в APM WinMachine (APM Structure 3D)

В отличие от APM WinMachine, интерфейс MSC.vN4W (Femap) [6] позволяет задать радиальную составляющую *Q* по нормали к поверхности оболочечного элемента. Таким образом, приложение нагрузок в Femap сводится к заданию составляющих полной реакции *R* – осевой *T* и радиальной *Q*.

Для того чтобы учесть силу трения при моделировании в APM WinMachine в модуле APM Structure 3D необходимо, чтобы полная реакция *R* была приложена по периметру оболочечного элемента в узлах под углом $\gamma = \alpha + \varphi$. В Femap же лишь требуется задать составляющие полной реакции *R*, где значение угла трения φ уже учтено.

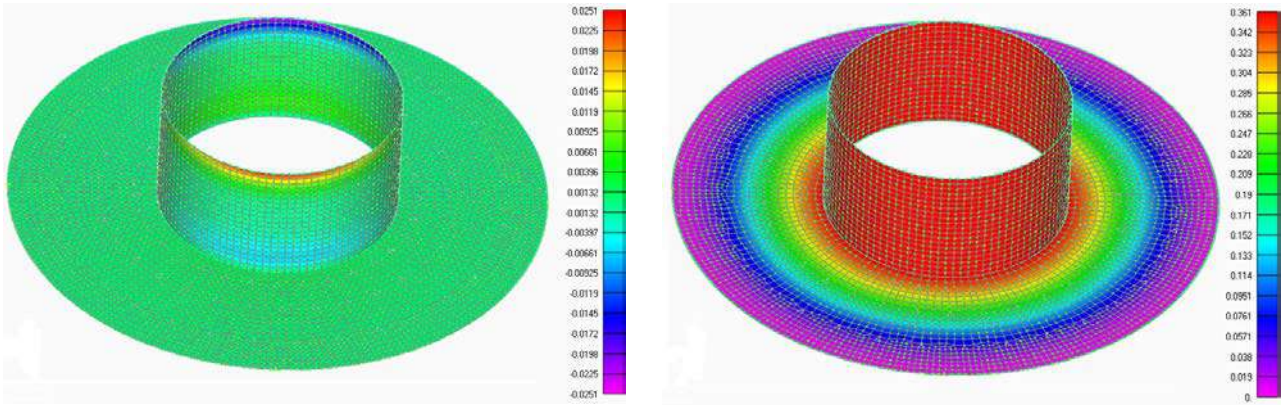


Рис. 4. Карта перемещений, полученная в MSC.vN4W (Femap)

Результаты и обсуждения. Основной задачей расчета [7, 8] в различных системах тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла являлось получение независимых друг от друга результатов. На рис. 3 и 4 представлены карты перемещений, полученные в APM WinMachine и MSC.vN4W соответственно, а в табл. 1 проводится их сравнение с аналитическими расчетами.

Таблица 1

Результаты аналитического расчета и моделирования

№ п/п	Где были получены результаты	Перемещения оболочечно-пластинчатого седла	
		$w_{осе}$, мм	$w_{рад}$, мм
1	Результаты аналитических расчетов в MathCAD	0,37	0,025
2	Результаты моделирования: APM WinMachine MSC.vN4W (Femap)	 0,357 0,361	 0,0240 0,0251

Из таблицы выше видно достаточно точное совпадение результатов расчета в MathCAD и моделирования в APM WinMachine (APM Structure 3D) и MSC.vN4W (Femap). Расхождение полученных результатов радиального смещения $w_{рад}$ торца оболочечного элемента при моделировании можно объяснить ограниченными возможностями модуля APM Structure 3D APM WinMachine. Приложение нагрузки в APM Structure 3D осуществлялось посредствам дополнительных фиктивных стержней (рис. 5), в то время как в MSC.vN4W этого не требовалось (рис. 6).

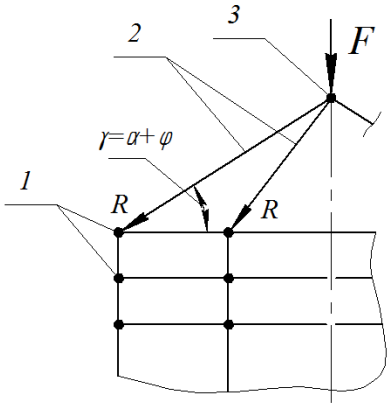


Рис. 5. Схема нагружения седла в APM Structure 3D (APM WinMachine)
1 – узлы КЭ сетки; 2 – фиктивные стержни; 3 – нагружаемый узел

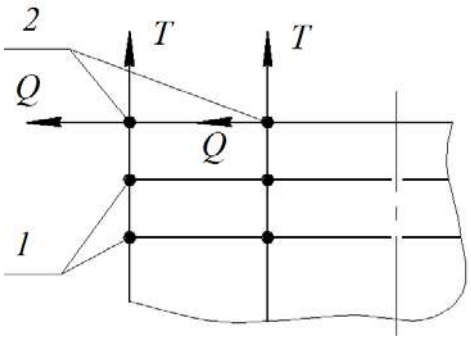


Рис. 6. Схема нагружения седла в MSC.vN4W (Femap)
1 – узлы КЭ сетки; 2 – нагружаемые узлы

Поперечные размеры сечений фиктивных стержней 2 (рис. 5) в APM Structure 3D должны быть соизмеримы с геометрическими размерами модели. Для того чтобы не утяжелять модель дополнительными массами и не вводить погрешность при расчете,

плотность материала вспомогательных стержней нужно выбрать малой (но не нулевой). Остальные параметры материала (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) допустимо оставить такими же, как у материала основных элементов модели.

Разработанная методика и результаты аналитических расчетов, полученные с использованием MathCAD [9] представлены в предыдущих работах [1–3].

Выводы. В результате расчета модели, наличие фиктивных стержней все равно дало погрешность. Расхождение результата полученного при моделировании в АРМ WinMachine для радиальных смещений торца оболочечного элемента $w_{рад}$ составило 4,5% в сравнении с результатом, полученным в MSC.vN4W (Femap) и 4 % – аналитическим путем. Такое расхождение результатов полученных при моделировании и аналитически является допустимым с точки зрения инженерной практики. При этом расхождения между АРМ WinMachine и MSC.vN4W (Femap) значительно, что следует учитывать при анализе полученных результатов.

Литература:

1. Долотов А.М., Белоголов Ю.И. Жесткостная модель оболочечно-пластинчатого седла // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2 (38). С. 107-110.

2. Герасимов С.В., Долотов А.М., Белоголов Ю.И. Математическая модель динамического нагружения двухседельного клапана // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. С. 126-129.

3. Долотов А.М., Белоголов Ю.И. Оболочка как элемент уплотнения // Трубопроводная арматура и оборудование. 2014. № 2. 94-97.

4. ГОСТ Р 52720-2007. Арматура трубопроводная. Термины и определения. - Введ. 2007-04-11. - М.: Стандартинформ, сор. 2007. - 16 с.

5. Замрий А. А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде АРМ Structure 3D. -М.: Издательство АПМ. 2009. -288 с. 5-901346-06-8. ISBN: 5901346068.

6. Шимкович Д.Г. Femap & Nastran Инженерный анализ методом конечных элементов - М.: ДМК Пресс, 2008. - 704 с., ил. (Серия "Проектирование") 978-5-94074461-0. ISBN: 9785940744610.

7. Белоголов Ю.И. Совершенствование конструкций уплотнительных соединений с тонкостенными элементами (упругой кромкой): автореф. дис. … канд. техн. наук. Братск, 2013. 23 с.

8. Герасимов С.В., Долотов А.М., Белоголов Ю.И. Математическая модель динамического нагружения уплотнения с оболочечным элементом//Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 1. С. 122-126.

9. Макаров Е. Инженерные расчеты в Mathcad 14 - СПб.: Питер, 2007. - 592 с. ISBN: 9785911803483 EDN: QMQXFH.

10. Кондаков Л.А. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.В. Гордеев и др.; Под общ. Ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1994. - 448 с.

11. Кармугин Б. В. Клапанные уплотнения пневмогидроагрегатов / Б.В. Кармугин, Г.Г. Стратиневский, Д.А. Мендельсон - М.: Машиностроение, 1983. - 152с.

To the question of coincidence of the results obtained by the analytical method and with finite element modeling

Belogolov Yu.I.[1, a]

[1] Irkutsk State Transport University, st. Chernyshevsky 15, Irkutsk, Russia
[a] belogolov_yi@irgups.ru

Keywords: thin-walled seal, shell, stress-strain state, strength calculations, modeling, APM WinMachine, MSC.vN4W (Femap).

The article presents the main stages of modeling a thin-walled shell-plate valve seat and features of the load application in the finite element analysis systems APM WinMachine and MSC.vN4W (Femap). The shell-plate element is loaded by the spool due to the force created by the drive part of the valve, while there is no pressure of the working medium. Having carried out analytical calculations according to the developed method (not given in the article) and having obtained the values of the displacements of a thin-walled shell-plate saddle, its modeling was performed. As one of the main features that was revealed in the process of modeling a thin-walled element, one can single out the work of the APM Structure 3D module of the APM WinMachine system in which there is no possibility to set the load Q along the normal to the surface of the shell element. In this regard, the model was improved through the use of secondary (fictitious) elements. At the end of the article, the results obtained during modeling in APM WinMachine and MSC.vN4W (Femap) are compared with analytical calculations, as well as among themselves, and a conclusion is made.

УДК 621.22

Совершенствование конструкции карданной передачи

Кукушкин Е. В.[1,a], Ереско С. П.[2,b], Ереско Т. Т.[2]

[1] ООО Сайдер, Российская Федерация, 198323, Санкт-Петербург, Волхонское ш, 115
[2]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
[a]ironjeck@mail.ru, [b]eresko07@mail.ru

Ключевые слова: карданные передачи, гашение крутильных колебаний, пружины кручения.

Усовершенствована карданная передача, техническим результатом которой является повышение надежности и эффективности гашения крутильных колебаний при нестационарных моментах в период разгона и торможения за счет одновременного действия демпфирующих свойств установленных пружин при крутильных колебаниях и осевых ударных нагрузках.

Предлагаемая карданная передача относится к области машиностроения и предназначена для использования в приводах механизмов и машин для передачи крутящего момента между валами, расположенными под углом друг к другу.

Известна карданная передача [1], которая содержит гибкий вал, защитную оболочку, а гибкий вал выполнен в виде каната крестовой свивки, на концах которого расположены шлицевые валы с наружной сферической поверхностью, фланцы с втулками, имеющими наружную сферическую поверхность, на которые установлены втулки с внутренней сферической поверхностью, жестко соединенные с защитной оболочкой, выполненной в виде двух труб, входящих одна в другую с возможностью перемещения по осевой относительно друг друга. Недостатком карданной передачи является сложность конструкции, ограниченность передаваемых моментов прочностью применяемых канатов, трудоемкость процесса технического обслуживания ввиду того, что необходимо снимать карданный вал и разбирать полумуфты его крепления к трансмиссии.

Также известен карданный вал [2], который содержит соединительный вал, первый кардан, второй кардан, муфту сцепления, продольную ось, причем нагружается посредством пружинных средств, которые размещены в блоке перемещения соединительного вала, и, с помощью которых центрируется насадка по коническому отверстию. Центрирующая насадка имеет базовый элемент, который закреплен на муфте или на первом кардане. Недостатком карданной передачи является сложность конструкции, ограничение передаваемых моментов муфтой сцепления, трудоемкость процесса технического обслуживания ввиду того, что необходимо снимать карданный вал и разбирать полумуфты его крепления к трансмиссии.

Известна карданная передача [3], содержащая две полумуфты, установленное между ними упругое промежуточное звено, состоящее из нескольких, равномерно расположенных по периметру торцев полумуфт изогнутых лент, причем карданная передача снабжена прокладками, обеспечивающими гарантированный зазор между лентами. Недостатком карданной передачи является повышенный износ упругого промежуточного звена, сложность конструкции, ограничение диапазона гашения колебаний ввиду его зависимости от зазоров между лентами, трудоемкость процесса технического обслуживания ввиду того, что необходимо снимать карданный вал и разбирать полумуфты его крепления к трансмиссии.

Известна карданная передача [4], содержащая два карданных шарнира, соединенных неподвижно между собой разборным карданным валом, имеющим подвижное осевое соединение по центру вала выполненное в виде шлицевого хвостовика одной половины вала установленного в ответной шлицевой втулке расположенной на другой половине вала с возможностью осевого возвратно поступательного перемещения половин вала и передачи крутящего момента, при одновременном демпфировании осевых нагрузок, установленной на шлицевой втулке пружиной растяжения-сжатия в защитной обойме. Недостаток карданной передачи заключается в том, что отсутствует гашение крутильных колебаний при нестационарных моментах в период разгона и торможения, что в свою очередь приводит к отказам в виде скручивания карданных валов и снижает их долговечность, а вследствие этого и надежность.

Задачей является повышение надежности и эффективности гашения крутильных колебаний при нестационарных моментах в период разгона и торможения за счет исключение трения и износа упругого промежуточного звена при одновременном упрощении конструкции карданной передачи. Поставленная задача решается тем, что в известной карданной передаче, содержащей два карданных шарнира, соединенных неподвижно между собой разборным карданным валом, имеющим подвижное осевое соединение по центру вала выполненное в виде шлицевого хвостовика одной половины вала установленного в ответной шлицевой втулке расположенной на другой половине вала с возможностью осевого возвратно поступательного перемещения половин вала и передачи крутящего момента, при одновременном демпфировании осевых нагрузок, карданные шарниры с разборным карданным валом соединены подвижно с возможностью реверсивного осевого и угловых перемещений при воздействии осевых нагрузок и крутящего момента, а карданные шарниры соединены с разборным карданным валом посредством пружин кручения с взаимопротивоположными навивками, установленных концентрично вдоль оси в радиальных проточках разборных половин карданного вала и карданных шарниров и закрепленными своими крайними витками соответственно на карданном шарнире и соответствующей половине разборного карданного вала, в защитных обоймах, закрепленных с одной стороны на разборных половин карданного вала с возможностью съема без демонтажа карданной передачи для проведения замены или ремонта частей карданного вала, а также фиксации пружин кручения в радиальных проточках, препятствующих изгибу и раскручиванию пружин. Техническим результатом является повышение надежности и эффективности гашения крутильных колебаний при нестационарных моментах в период разгона и торможения за счет одновременного действия демпфирующих свойств установленных пружин при крутильных колебаниях и осевых ударных нагрузках. [5]

Карданная передача (рис. 1) содержит два карданных шарнира 1, соединенных неподвижно между собой разборным карданным валом 2, имеющим подвижное осевое соединение по центру вала выполненное в виде шлицевого хвостовика одной половины вала 3 установленного в ответной шлицевой втулке 4 расположенной на другой половине вала с возможностью осевого возвратно поступательного перемещения половин вала и передачи крутящего момента, при одновременном демпфировании осевых нагрузок, карданные шарниры 1 с разборным карданным валом 2 соединены подвижно с возможностью реверсивного осевого и угловых перемещений при воздействии осевых нагрузок и крутящего момента, а карданные шарниры 1 соединены с разборным карданным валом 2 посредством пружин кручения 5 с взаимопротивоположными навивками, установленных концентрично вдоль оси в радиальных проточках разборных половин карданного вала и карданных шарниров и закрепленными своими крайними витками соответственно на карданном шарнире и соответствующей половине разборного карданного вала, в защитных обоймах 6, препятствующих изгибу и раскручиванию пружин.

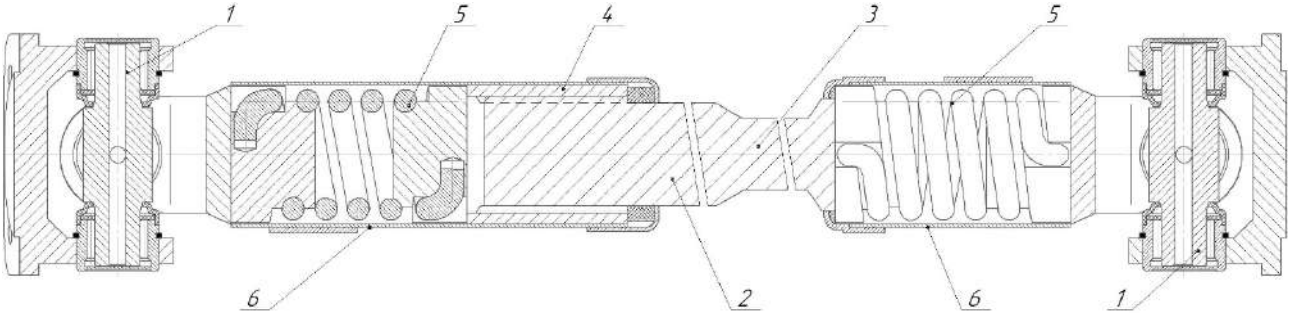


Рис. 1. Карданная передача

Карданная передача работает следующим образом: крутящий момент передается через карданный шарнир 1 на первую пружину кручения 5, которая закручивается, демпфируя крутильные колебания, а вторая пружина кручения 5 раскручивается и ограничивается защитной обоймой 6, после чего крутящий момент передается на 2й карданный шарнир 1.

При реверсивном вращении карданной передачи цикл повторяется, первая пружина кручения 5 раскручивается, а вторая пружина кручения 5 закручивается, демпфируя крутильные колебания, при вращении карданной передачи пружины дополнительно демпфируют осевые динамические нагрузки, а защитные обоймы препятствуют изгибу и раскручиванию пружин.

Техническим результатом является повышение надежности и эффективности гашения крутильных колебаний при нестационарных моментах в период разгона и торможения за счет одновременного действия демпфирующих свойств установленных пружин при крутильных колебаниях и осевых ударных нагрузках. [6-7]

Литература:

1. Пат. 1049 Российская Федерация, МПК7 B60K 17/22. Карданная передача / Закусилов А. А.; 94013650/11; заявл. 18.04.1994; опубл. 16.11.1995.

2. Пат. 2003126196 Российская Федерация, МПК7 B21 B35/14. Карданный вал/ Рюккер А; 2003126196/02; заявл. 26.08.2003; опубл. 27.02.2005.

3. Пат. 2093721 Российская Федерация, МПК7 F16D 3/72. Карданная передача / Васильев А. В.; 94016512/28; заявл. 04.05.1994; опубл. 20.10.1997.

4. Малаховский Я. Э., Лапин А. А., Веденеев Н. К. Карданные передачи. М., 1962. 156 с.

5. Пат. 2790137 Российская Федерация, МПК7 B60K 17/22. Карданная передача / Ереско С. П., Ереско Т. Т., Кукушкин Е. В.; № 2020133264; заявл. 30.07.2021; опубл. 14.02.2023. Бюл. №5. - 8 с.

6. Кукушкин Е. В. Совершенствование конструкции и методов проектирования карданных передач с шарнирами неравных угловых скоростей: дис. … канд. техн. наук: 05.02.02, 05.02.13. Красноярск. Изд-во СибГУ, 2021. 209 с.

7. Кукушкин Е. В. Совершенствование конструкции и методов проектирования карданных передач с шарнирами неравных угловых скоростей: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.02.02, 05.02.13. - Ростов на Дону: ДГТУ, 2021. - 23 с.

Improvement of the design of the cardan gear

Kukushkin E. V.[1,a], Eresko S. P. [2,b], Eresko T. T.[2]

[1] Sider, 115, Volkhonskoye sh., St. Petersburg, 198323, Russian Federation
[2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[a]ironjeck@mail.ru, [b]eresko07@mail.ru

Keywords: drivelines, torsional vibration damping, torsion springs.

The cardan gear has been improved, the technical result of which is to increase the reliability and efficiency of torsional vibration damping during non-stationary moments during acceleration and deceleration due to the simultaneous action of the damping properties of installed springs during torsional vibrations and axial shock loads.

УДК 538.911

Моделирование формирования дислокационной структуры в кристалле, содержащем обедненную зону

Липунов В.Н.[1,a], Маркидонов А.В.[2,b]

[1]Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, пр. Ленина, 46, Барнаул, Россия
[2]Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Кемеровского государственного университета, ул. Циолковского, 23, Новокузнецк, Россия
[a]sl222527@mail.ru, [b]markidonov_artem@mail.ru

Ключевые слова: моделирование, кристалл, дислокация, вакансии, температура

В представленной статье изложены результаты компьютерного моделирования процессов формирования дислокационной структуры кристалла, содержащего высокую концентрацию вакансий, формирующих обедненную зону. Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью развития подходов для борьбы с ухудшением механических свойств материалов, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Исследование проводилось при помощи молекулярно-динамической модели кристалла Ni_3Al, при различной концентрации вакансий и моделируемой температуре. Выполнена оценка количества сформировавшихся дислокационных сегментов и их длины. Кроме того, приведены результаты визуализации дислокационной структуры кристалла в конце процесса релаксации. Выявлены условия, при которых в моделируемомо кристалле начинают происходить процессы аморфизации. При этом возникают не только отдельные аморфные области, но и весь кристалл может аморфизироваться. Показано, что при высокой концентрации вакансии выявлен эффект, аналогичный процессу кавитации, происходящему в жидкой среде.

Воздействие высокоэнергетических частиц на поверхность металлов инициирует образование каскадов атомных смещений, которые способствуют микроструктурным изменениям в облученном материале и деградациям его механических свойств. Микроструктурная эволюция обусловлена высокой локальной плотностью образовывающихся точечных дефектов, что влияет на вероятность их кластеризации.

Известно, что область повреждения, образуемая в результате прохождения каскада атомных соударений, имеет дифференциацию распределения атомов. Центр данной области представляет собой обедненную зону, окруженную облаком смещенных атомов. Из-за наличия процессов каналирования и фокусировки возможно проявление анизотропии в распределении межузельных атомов, предотвращающее аннигиляцию дефектов. В результате этого вакансионные скопления, имеющиеся в избытке, начинают перестраиваться в различные кластеры – дислокационные петли, тетраэдры дефектов упаковки и т.п.

Актуальность изучения процессов дефектообразования с последующей кластеризацией в различных металлах и сплавах обусловлена важностью проблемы предотвращения радикального изменения структуры материалов под воздействием высокоэнергетических частиц в целях защиты различных конструкционных элементов от вредного радиационного облучения. Так, например, известно, что радиационная ползучесть, характеризующаяся повышенной скоростью, проявляет себя даже при невысоких температурах, когда роль доля термической ползучести крайне мала. Подобные процессы успешно исследуются с помощью методов компьютерного моделирования [1 - 4].

В данной работе методом молекулярной динамики проведено исследование дислокационных структур, формируемых в кристалле, при высокой концентрации вакансий. В качестве исследуемого материала рассматривался интерметаллид Ni_3Al со сверхструктурой $L1_2$. Как конструкционный материал, данный интерметаллид ценен способностью сопротивления к окислению и высокой термостабильностью. Для описания межчастичного взаимодействия использовался потенциал, рассчитанный в рамках метода погруженного атома [5].

Построение модели и последующие вычисления выполнялись с помощью МД-пакета XMD [6]. Модель строилась следующим образом. В прямоугольной системе координат задавался размер расчетной ячейки, имеющей форму параллелограмма, в двух взаимно ортогональных кристаллографических направлениях, совпадающих с координатными осями. Затем формировалась элементарная ячейка, расположение частиц в которой соответствовало ГЦК решетке, и путем трансляция данными ячейками заполнялся весь заданный объем. Так как предполагалось проведение исследования на модели кристаллита Ni_3Al, то параметр решетки задавался равным 3.56 Å. Ориентация расчетной ячейки в пространстве устанавливалась таким образом, чтобы ось X совпадала с кристаллографическим направлением [1-10], ось Y – с направлением [11-2]. Бесконечная протяженность расчетной ячейки моделировалась путем использования периодических граничных условий вдоль всех трех осей. Для создания обедненных зон, представляющих собой скопление вакансий, в расчетной ячейке случайным образом выбиралось заданное число частиц, которые удалялись. В дальнейшем подготовленная расчетная ячейка, содержащая заданную концентрацию вакансий, выдерживалась при выбранной температуре (изменяемой дискретно) в течение 5000 вычислительных шагов (один временной шаг был равен 5 фс), после чего следовала процедура закалки, путем многократного обнуления скоростей атомов, и осуществлялся анализ структуры. Таким образом, основными варьируемыми параметрами при проведении компьютерного моделирования являлись концентрация вакансий n и температура отжига расчетной ячейки T.

Для структурного анализа и визуализации модели использовался пакет OVITO [7]. В частности для анализа дислокационной структуры применялся алгоритм Dislocation Extraction (DXA) [8, 9], основанный на тесселяции и триангуляции Делоне, который идентифицирует выявленные в расчетной ячейке дислокационные линии.

Результаты компьютерного моделирования показали, что в моделируемых расчетных ячейках начинает формироваться разветвленная сеть дислокационных линий. При этом была выполнена оценка не только общего количества дислокационных сегментов, но и их длина. Результаты проведенного анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выявленные дислокационные сегменты в расчетной ячейке

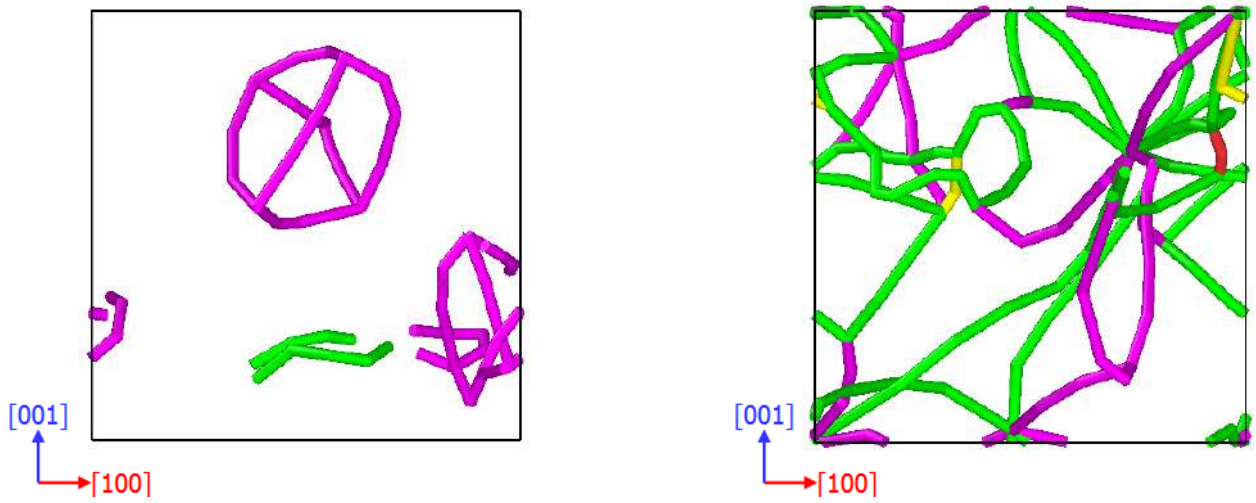
n, %	*T*, К	Дислокационные сегменты: количество / длина (Å)					
		Вектор Бюргерса					
		a/2 <110>	*a*/6 <112>	*a*/6 <110>	*a*/3 <001>	*a*/3 <111>	Прочий
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
6.25	300	0	0	0	0	0	0
	600	0	0	14 / 156.323	0	0	0
	900	0	2 / 25.6663	14 / 186.512	0	0	0
	1200	0	20 / 248.952	26 / 278.801	1 / 7.69165	1 / 14.5073	1 / 11.8383
	1500	0	25 / 416.119	15 / 230.163	2 / 18.2557	0	1 / 4.2578
12.5	300	0	12 / 100.387	34 / 298.672	0	0	0
	600	2 / 23.3852	31 / 387.032	6 / 73.3073	6 / 52.3615	1 / 9.95194	4 / 30.2724
	900	2 / 15.1914	15 / 217.84	0	6 / 57.0174	0	0
	1200	0	6 / 153.726	2 / 37.5077	0	0	0
	1500	-	-	-	-	-	-
18.75	300	1 / 13.9206	24 / 396.484	2 / 26.9419	1 / 13.9568	0	3 / 31.2713
	600	2 / 31.9249	23 / 416.244	7 / 84.6506	0	2 / 43.7368	2 / 16.2213
	900	0	1 / 20.4194	0	0	0	0
	1200	-	-	-	-	-	-
	1500	-	-	-	-	-	-
25	300	0	20 / 259.232	1 / 8.71224	0	0	0
	600	-	-	-	-	-	-
	900	-	-	-	-	-	-
	1200	-	-	-	-	-	-
	1500	-	-	-	-	-	-

Стоит оговорить, что при проведении исследования рассматривались различные концентрации вакансий, но в таблицу №1 включены наиболее показательные результаты.

Проведенное исследование показало, что при концентрации вакансий n = 6.25 % (наименьшей из рассматриваемых) структурные перестройки, сопровождающиеся образованием вершинных дислокаций, начинаются при рассматриваемой температуре 600 К. По мере повышения температуры начинают идентифицироваться частичные дислокации Шокли и Франка, а число сегментов увеличивается и растет общая длина дислокационных линий (см. рис. 1).

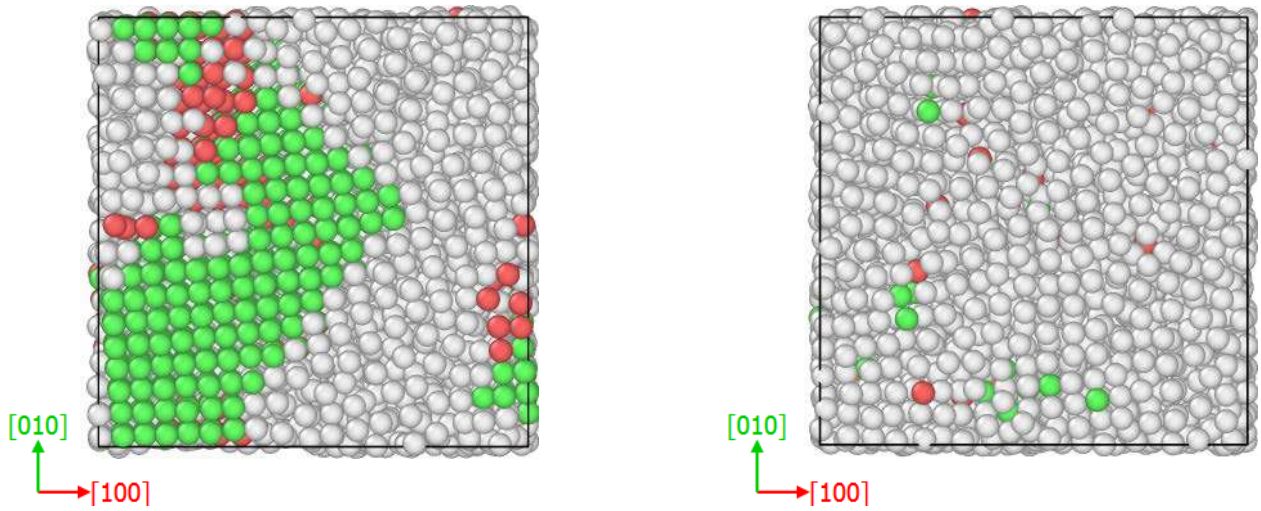
Также нужно отметить, что при невысокой температуре в дислокационных сетках содержится преимущественно краевая компонента, но по мере повышении температуры начинает проявляться и винтовая компонента. По мере увеличения концентрации вакансий дислокационные сетки, включающие в себя винтовую компоненту, наблюдаются при более низких температурах.

При дальнейшем повышении температуры наблюдается аморфизация структуры кристаллической решетки. При этом, возможна как фрагментарная аморфизация (см. рис. 20.а и 20.б), так и всеобъемлющая (см. рис. 20.в). При построении рисунка 20 был проведен топологический анализ путем идентификации локального окружения частиц с помощью метода углов и связей Экленда-Джонса [10].



а) *б)*

Рис. 1. Распределение дислокационных сегментов в расчетной ячейке (n = 6.25 %) после релаксации системы при 900 (а) и 1500 (б) К. Цветовая визуализация обусловлена вектором Бюргерса: зеленый цвет – 1/6 <112>, розовый – 1/6 <110>, желтый – 1/3 <001>



а) *б)*

Рис. 2. Фазовый состав моделируемых структур после релаксации при определенной температуре: (а) n = 18.75 %, T = 900 K; (б) n = 25 %, T = 600 K. Зеленые атомы – ГЦК-фаза, красные атомы – ГПУ-фаза, серые атомы – не идентифицируемо

При наибольшей рассматриваемой концентрации вакансий (n = 25 %) был обнаружен псевдокавитационный эффект, наблюдаемый при 900 К, и заключающийся в образовании единого кластера, представляющего собой пору, расположенной в аморфной структуре (см. рис. 3). Причиной образования поры, очевидно, является переизбыток свободного объема в моделируемой системе.

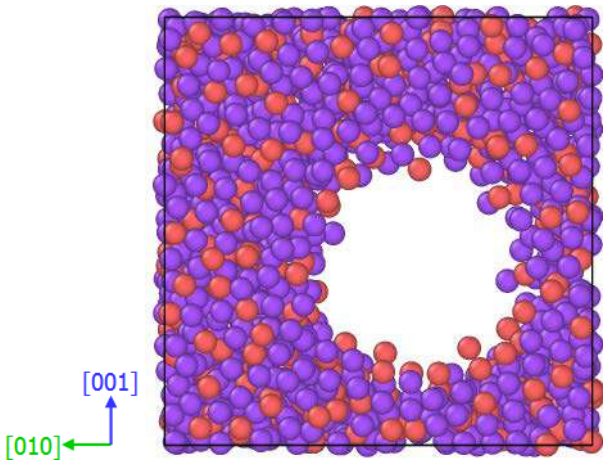


Рис. 3. Сечение расчетной ячейки после проведенного моделирования с параметрами n = 25%, T = 900 K

Таким образом, в данной работе проанализированы структурные изменения, происходящие в кристалле при наличии высокой концентрации вакансий. Показано, что обедненные зоны в процессе структурной релаксации активно перестраиваются в различные разветвленные дислокационные структуры. При этом общая протяженность дислокационных линий зависит не только от концентрации вакансий, но и от температуры, при которой происходят структурные преобразования.

Литература:

1. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Захаров П.В., Обидина О.В. Перемещение дислокационных ансамблей в ГЦК кристалле при высокоэнергетическом внешнем воздействии // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2015. Т.12. №3. С.373-381.

2. Старостенков М.Д., Маркидонов А.В. Компьютерное моделирование изменения дислокационной структуры кристалла при облучении высокоэнергетическими частицами // Многофункциональные конструкционные материалы нового поколения. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. С.162-173.

3. Старостенков М.Д., Маркидонов А.В., Табаков П.Я. Исследование высокоскоростного воздействия на динамику краевой дислокации в никеле // Деформация и разрушение материалов. 2016. №6. С.2-8.

4. Старостенков М.Д., Потекаев А.А., Маркидонов А.В., Кулагина В.В., Гринкевич Л.С. Динамика краевых дислокаций в слабоустойчивом состоянии ГЦК-системы при облучении высокоэнергетическими частицами // Известия ВУЗов. Физика. 2016. Т.59. №9. С.105-112.

5. Voter A.F., Chen S.P. Accurate interatomic potentials for Ni, Al and Ni_3Al // Materials Research Society Symposium Proceedings. 1987. Vol. 82. Pp.175-180.

6. XMD - Molecular Dynamics Program. URL: https://xmd.sourceforge.net (дата обращения: 03.04.2023).

7. Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO –the Open Visualization Tool // Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 2010. Vol.18. 015012 (7pp).

8. Stukowski A., Albe K. Extracting dislocations and non-dislocation crystal defects from atomistic simulation data // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. 2010. Vol.18. No8. 085001 (13 pp).

9. Stukowski A., Bulatov V.V., Arsenlis A. Automated identification and indexing of dislocations in crystal interfaces // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. 2012. Vol.20. No.8. 085007 (16 pp).

10. Ackland G.J., Jones A.P. Applications of local crystal structure measures in experiment and simulation // Physical Review B. 2006. Vol.73. No.5. 054104 (7pp).

Modeling the formation of a dislocation structure in a crystal containing a depleted zone

Lipunov V.N.[1,a], Markidonov A.V.[2,b]

[1]Polzunov Altai State Technical University, 46 prospect Lenina, 656038, Barnaul, Russian Federation
[2] Kuzbass Institute of Humanities and Pedagogics at Kemerovo State, 23 Tsiolkovsky st., Novokuznetsk, 654041, Russian Federation
[a]sl222527@mail.ru, [b]markidonov_artem@mail.ru

Keywords: simulation, crystal, dislocation, vacancies, temperature

This article presents the results of computer simulation of the processes of formation of the dislocation structure of a crystal containing a high concentration of vacancies that form a depleted zone. The relevance of the study is due to the need to develop approaches to combat the deterioration of the mechanical properties of materials used in extreme conditions. The study was carried out using a molecular dynamics model of the Ni_3Al crystal, at various concentrations of vacancies and a simulated temperature. The number of formed dislocation segments and their length is estimated. In addition, the results of visualization of the dislocation structure of the crystal at the end of the relaxation process are presented. The conditions under which amorphization processes begin to occur in the simulated crystal are revealed. In this case, not only individual amorphous regions arise, but the entire crystal can be amorphized. It is shown that at a high vacancy concentration, an effect similar to the cavitation process occurring in a liquid medium is revealed.

УДК 669.017

Использование конструкционных и защитно-отделочных материалов в машиностроении

Ташлыкова О.А.[1], Портнягина А.В.[1], Герасимов С.Н.[1,a], Мамаев Л.А.[1]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]sdm_gerasimov@rambler.ru

Ключевые слова: классификация, достоинства, недостатки, износы, конструкционные материалы, нагрузка, детали.

В данной статье рассмотрим, какие бывают конструкционные и защитно-отделочные материалы, а также их классификацию, достоинства и недостатки. Какие существуют причины потери работоспособности машин, что влияет на их износ. А также область их применения.

Введение. Основными причинами потери работоспособности машин являются износ и усталостные разрушения деталей. Установлено, что до 80% случаев потери работоспособности машин происходит вследствие износа.

Принято классифицировать износы на механический, молекулярно-механический и коррозионно-механический. Механический износ представляет собой процесс разрушения поверхностных слоев в результате упругих и пластических деформаций без существенных физико-химических изменений свойств материалов. К механическому износу относятся:

абразивный износ, пластическое деформирование и износ при кавитации. Абразивный износ представляет собой пластическую деформацию верхних слоев при трении скольжения в результате воздействия на сопряженные поверхности твердых абразивных частиц.

При пластическом деформировании под воздействием внешних нагрузок и высоких температур более мягкий материал перемещается в направлении движения, а затем отрывается (изнашивание мягких антифрикционных материалов подшипников скольжения, наволакивание материала зубьев зубчатых передач при работе с перегрузкой и т.д.).

Для изготовления деталей с ограниченным сроком службы применяют стали, чугуны, специальные сплавы черных и цветных металлов, пластические массы и другие неметаллические материалы. Большинство сталей, используемых в машиностроении, включено в Государственные стандарты (ГОСТы). В зависимости от назначения стали подразделяют на конструкционные (машиностроительные) и стали с особыми свойствами. Конструкционные стали с пониженным содержанием углерода при изготовлении деталей ограниченной долговечности чаще всего подвергают цементации и называют цементируемыми. В деталях, изготовляемых из углеродистых сталей с очень малым содержанием углерода, сердцевина не упрочняется, и после цементации и закалки можно получить высокую твердость лишь поверхностного цементированного слоя. При повышенном содержании углерода, а также при наличии легирующих элементов эффект упрочнения сердцевины после термической обработки повышается.

Среднеуглеродистые стали, содержащие более 0,25...0,30 % углерода и разные количества легирующих элементов, применяются, как правило, для изготовления деталей, которые подвергают объемной термической обработке. Закалка и высокий отпуск существенно улучшают комплекс механических свойств этих сталей.

Имеется группа высокопрочных улучшаемых сталей, которые после соответствующей термической обработки приобретают при достаточной вязкости более высокую прочность, чем обычные конструкционные стали. Это хромоникелевые стали, дополнительно легированные в разных количествах и сочетаниях молибденом, вольфрамом, ванадием. Их используют для изготовления ответственных деталей, для которых требуется материал высокой прочности в крупных сечениях. Высокопрочные стали со стареющим мартенситом содержат менее 0,03 % углерода, 8...26 % никеля, титан, алюминий и легированы кобальтом, молибденом или ниобием. Повышение механических свойств высокопрочных сталей достигается в процессе термической обработки, при которой в результате закалки получается практически без углеродистый мартенсит, а при отпуске происходит выделение интерметаллидных фаз (дисперсионное твердение). Стали с более высоким содержанием углерода (0,5...0,7 %) часто с добавками марганца и кремния, главным образом используются для изготовления рессор и пружин. Пружинные стали должны иметь высокий предел упругости (текучести), что достигается соответствующей объемной термической обработкой.

К сталям с особыми свойствами относятся износостойкие, жаропрочные, коррозионностойкие, окалин стойкие и др.

Для наплавки рабочих частей изнашивающихся деталей машин с целью их упрочнения применяются специальные твердые сплавы, отличающиеся высокой износостойкостью.

Детали, работающие под нагрузкой при высоких температурах, изготавливают из жаропрочных сталей. Выбор материалов производится при этом исходя из их прочностных свойств в заданном рабочем интервале температур. Для деталей, работающих при температурах ниже 300 °С, рекомендуется использовать обработанные на высокую прочность простые конструкционные стали, у которых в этом диапазоне температур не наблюдаются явления ползучести. В интервале температур 300...500 °С лучшими прочностными свойствами обладают стали хромомолибденовые и хромокремнистые (сильхромы). Детали, работающие в интервале температур 500...650 °С изготовляют из

аустенитных жаропрочных сталей, которые подразделяются на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Коррозионно и окалиностойкие стали и сплавы предназначены для изготовления деталей, работающих в ненагруженном или слабонагруженном состоянии в агрессивных средах и при высоких температурах. К этой группе относятся хромистые, высокохромистые, хромоникельмарганцовистые стали [1].

При проектировании необходимо выбирать стали, с учитывая их стоимость. В промышленности применяют также отливки из коррозионностойких чугунов.

Теория. Классификация. Стали классифицируют по следующим признакам: химическому составу, способу производства, содержанию вредных примесей, структуре, области применения.

По химическому составу различают стали углеродистые и легированные. По основным легирующим элементам стали называют хромистыми, кремнистыми, хромоникелевыми, хромомарганцеванадиевыми и т. п. В зависимости от содержания легирующих элементов легированные стали делят на низколегированные (до 2,5%), среднелегированные (2,5...10%) и высоколегированные (более 10%).

По способу производства стали бывают: особых методов выплавки, электростали, конвертерные и мартеновские.

По содержанию вредных примесей (серы и фосфора) различают стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Высокохромистые стали ледебуритного класса отличаются высокой износостойкостью в закаленном состоянии благодаря наличию твердых хромистых карбидов. Из этих сталей изготовляют плиты дробилок, штампы для холодной формовки, гибки, резки, протяжки, накатные ролики, сверла и детали, работающие в абразивной среде.

Рис.1. Элементы кузова машины, в которых используется различные виды стали

Шарикоподшипниковые стали после термической обработки обладают высокой твердостью, прочностью и сопротивляемостью усталостному выкрашиванию (осповидному разрушению). Стали предназначены для изготовления шариков, роликов и колец подшипников качения. Для наплавки рабочих частей изнашивающихся деталей машин с целью их упрочнения применяются специальные твердые сплавы, отличающиеся высокой износостойкостью.

Среди новых конструкционных материалов видное место принадлежит пластическим массам (пластмассам) и синтетическим смолам. Пластическими массами называют неметаллические материалы, получаемые на основе природных и синтетических полимеров.

Пластмассы являются как заменителями дефицитных цветных металлов, так и материалами с особыми свойствами, для которых не всегда может быть найдена замена. Этим объясняется широкое использование пластмасс для изготовления значительной номенклатуры деталей машин.

Применение пластмасс повышает качество машин и оборудования за счет снижения их массы, улучшает внешний вид, позволяет экономить цветные и черные металлы. Особенно эффективна замена пластмассами цветных металлов (свинца, меди, цинка, латуни, бронзы) и легированных сталей. Применение, например, 1 тонны эпоксидной смолы в электротехнике дает экономию более 4 тонн меди.

Классификация пластмасс. Пластмассы в зависимости от их поведения при нагреве делятся на термореактивные (реактопласты) и термопластические (термопласты).

Реактопласты под действием теплоты и давления (или инициаторов – ускорителей отверждения) переходят в твердое, неплавкое и нерастворимое состояние. Реактопласты не могут быть вторично переработаны.

Термопласты под действием теплоты плавятся и затвердевают при охлаждении. Изделия из термопластов могут неоднократно перерабатываться. Однако повторный нагрев несколько ухудшает физико-механические свойства материала (за счет разложения и загрязнения его) [2].

В зависимости от применяемого наполнителя пластические массы разделяют на композиционные и слоистые. Композиционные, в свою очередь, делятся на порошкообразные и волокнистые. Для изготовления деталей с ограниченным сроком службы применяют стали, чугуны, специальные сплавы черных и цветных металлов, пластические массы и другие неметаллические материалы. Большинство сталей, используемых в машиностроении, включено в Государственные стандарты (ГОСТы). В зависимости от назначения стали подразделяют на конструкционные (машиностроительные) и стали с особыми свойствами. Конструкционные стали с пониженным содержанием углерода при изготовлении деталей ограниченной долговечности чаще всего подвергают цементации и называют цементируемыми. В деталях, изготовляемых из углеродистых сталей с очень малым содержанием углерода, сердцевина не упрочняется, и после цементации и закалки можно получить высокую твердость лишь поверхностного цементированного слоя. При повышенном содержании углерода, а также при наличии легирующих элементов эффект упрочнения сердцевины после термической обработки повышается.

В промышленности применяют также отливки из коррозионностойких чугунов. К этой группе сплавов относятся высококремнистые (ферросилиды), кремниемолибденовые (антихлоры), аустенитные и высокохромистые чугуны. Высокохромистые чугуны обладают химической стойкостью в кислотах (азотной, хромовой и др.), а также в серной кислоте при различных температурах и концентрациях, стойки в органических кислотах (уксусной, муравьиной, лимонной и др.), в ряде растворов солей и во влажной атмосфере. Аустенитные чугуны, помимо повышенной коррозионной стойкости, имеют хорошие литейные свойства, значительную пластичность, износостойкость и удовлетворительную обрабатываемость резанием.

Серый чугун применяется для изготовления деталей, подверженных незначительным механическим нагрузкам. Серый чугун– это дешёвый и наиболее широко применяемый в машиностроении, сантехнике, строительных конструкциях вид чугуна. Перлитный серый чугун с высокими прочностными свойствами применяют для нагруженных деталей машин.

Высокопрочный чугун. Чугун с шаровидным графитом. Углерод преимущественно или полностью присутствует в свободном состоянии в форме шаровидного графита. Обладает высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью, иногда могут использоваться вместо стали. У данного чугуна хорошая жесткость, ударная вязкость, он прочный, не хрупкий. Но не может поглощать вибрации, низкая теплопроводность, как следствие большое выделение тепла.

Из ковкого чугуна изготавливают детали, требующие жаростойкости, ростоустойчивости, жаропрочности, коррозионной стойкости, немагнитности и др.

Из белого чугуна изготавливают детали машин, требующие высокой прочности и пластичности. Получение структуры основано на отжиге отливок, имеющих в литом состоянии структуру белого чугуна. Белые чугуны обладают высокой прочностью и

хрупкостью, и они очень абразивные, они плохо поддаются механической обработке, поэтому из них получают отливки не требующих обработки и работающих в условиях абразивного износа при сухом трении, также белый чугун используют для получения ковкого чугуна.

Из отбеленного чугуна изготавливают детали, работающие на изнашивание аналогично белому чугуну. Отбеленный слой расположен лишь на рабочей поверхности отливки.

Для работы при повышенных температурах и в окислительных средах применяют жаростойкие, коррозионностойкие и жаропрочные чугуны

Рис. 2. Различные виды строительных материалов из чугуна

Достоинства и недостатки. На производство пластмасс требуется гораздо меньше капитальных вложений, чем на получение цветных металлов.

Основой пластических масс являются смолы – высокомолекулярные соединения органического происхождения. Смолы в чистом виде используются реже. Для подавляющего большинства пластмасс характерны следующие положительные качества:

1) малая плотность полимерных материалов (1,1...1,8 г/см^3), что позволяет значительно уменьшить массу машин, конструкцию которых составляют детали из пластмасс;

2) химическая стойкость – пластмассы не подвержены коррозии, даже в агрессивных средах;

3) хорошие электроизоляционные свойства, что позволяет применять пластмассы в качестве диэлектриков, незаменимых в высокочастотных устройствах радиосвязи, телевидения и т. д.;

4) высокая удельная и абсолютная механическая прочность и возможность создания анизотропных материалов;

5) высокая технологичность – трудоемкость изготовления самых сложных деталей из пластмасс незначительна по сравнению с трудоемкостью изготовления деталей из других материалов;

6) наличие неограниченных ресурсов дешевого сырья.

Минусы:

1) низкая теплостойкость – основные виды пластмасс могут удовлетворительно работать лишь в сравнительно небольшом интервале температур (от -60 до +200 °С); однако для пластмасс на основе кремнийорганических полимеров, фурфурольных композиций и фторопластов верхний предел температур доходит до 300...400°С;

2) низкая теплопроводность, которая в 500...600 раз ниже теплопроводности металлов, что ограничивает применение пластмасс в узлах и деталях машин, где необходим быстрый отвод больших количеств теплоты;

3) низкая твердость (НВ 6...60);

4) ярко выраженная ползучесть, особенно у термопластов;

5) малая жесткость, так как модуль упругости самых жестких пластмасс (стеклопластиков) на один - два порядка ниже, чем у металлов;

6) старение, обуславливающее ухудшение свойств пластмасс со временем под действием температуры, влажности, света и воды.

Характерной особенностью автоматных сталей является хорошая обрабатываемость резанием, поскольку сера образует большое количество включений сернистого марганца MnS, нарушающих сплошность металла, а фосфор, растворяясь в феррите, сильно снижает его вязкость. Обрабатываемость улучшают также присадкой к стали небольшого количества свинца, селена и других элементов. При механической обработке автоматных сталей образуется короткая, ломкая стружка, что особенно важно при работе на быстроходных станках-автоматах [3].

Область применения. Из отбеленного чугуна изготовляют детали машин, подвергаемые при необходимости механической обработке только шлифованию (валки для прокатки листового и профилированного металла, дробильные мельничные шары, зубья ковшей экскаваторов и др.). Стали, предназначенные для изготовления пружин и рессор, должны допускать большие упругие деформации и иметь пластические свойства, обеспечивающие работу витых и других пружин без поломок при перегрузках, должны противостоять циклическим нагрузкам.

Из белого чугуна изготавливают детали машин, требующие высокой прочности и пластичности. В настоящее время бронзы используют при изготовлении арматуры газовых и водопроводных линий, в химическом машиностроении и во многих других отраслях промышленности. Малый коэффициент трения и устойчивость к изнашиванию делает их незаменимыми при изготовлении вкладышей подшипников, червячных колес, шестерен и других деталей ответственных и точных приборов.

Алюминий и его сплавы широко применяются в машиностроении для изготовления различных транспортных аппаратов, поскольку это дает возможность при той же мощности двигателя повысить динамику машины. Алюминий применяется и в металлургии, где используется его большое сродство с кислородом, для получения в чистом виде дорогих и редких металлов, например хрома, ванадия и др. Низкие сорта алюминия применяются для раскисления стали.

Алюминиевые сосуды и арматура используются при производстве органических кислот. Благодаря тому, что соединения алюминия безвредны для здоровья человека, их широко применяют в пищевой промышленности для обертки конфет, сыра и других продуктов, а также для аппаратуры.

Полиэтилен ВД применяют как упаковочный материал в виде пленки или для изготовления небьющейся химической посуды.

Литература:

1. Кузьмин Ю.А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобилестроении, Учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 186 с.

2. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки. Учебное пособие. Москва: Издательский центр «Академия», 2008. -336 с.

3. Казьмин Б.Н., Зюзин А.А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы. учебное пособие. Липецк: ЛГТУ, 2008. -178 с.

The use of structural and protective finishing materials in mechanical engineering

Tashlykova O.A.[1], Portnyagina A.V.[1], Gerasimov S.N.[1,a], Mamaev L.A.[1]

[1]Bratsk State University, st. Makarenko, 40, Bratsk, Russia
[a]sdm_gerasimov@rambler.ru

Keywords: classification, advantages, disadvantages, wear, structural materials, load, details.

In this article we will consider what are the structural and protective finishing materials, as well as their classification, advantages and disadvantages. What are the reasons for the loss of machine performance, what affects their wear and tear. As well as the scope of their application.

УДК 669.017

Конструкционные и защитно-отделочные материалы

Ташлыкова О.А.[1], Портнягина А.В.[1], Герасимов С.Н.[1a], Кобзова И.О.[1]

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]sdm_gerasimov@rambler.ru

Ключевые слова: материалы, сплавы, силовые нагрузки, стали, прочность, долговечность, детали, структурный класс.

В данной статье рассмотрены конструкционные и защитно-отделочные материалы, их свойства, а также виды отжига. Использование сталей в современной технике и деталях.

Введение: В современном мире возросли скорости эксплуатации, режимы силового и температурного нагружения транспортных средств, что повлекло интенсификацию условий эксплуатации деталей и сборочных единиц многих машин различного назначения. Всё это вызвало применение большого количества новых конструкционных материалов для их изготовления. Любое машиностроительное изделие, любую составляющую его деталь изготавливают из материалов, удовлетворяющих по совокупности техническим, эксплуатационным, технологическим, экономическим, экологическим и иным требованиям, и таким образом, обеспечивающих выполнение служебного назначения. Такие материалы принято называть конструкционными. Порой можно встретить определение, по которому к конструкционным материалам относят только такие, из которых изготавливают детали (элементы конструкции), воспринимающие силовые нагрузки. На самом же деле конструкционные материалы должны воспринимать любые внутренние и внешние физические воздействия, например, выполнять фрикционную и антифрикционную, тепло – и шумоизолирующую, экранирующую, герметизирующую функции и т.п. Способность материалов удовлетворять предъявленным требованиям выявляется при анализе их свойств, т.е. характеристик, определяющих поведение материала при производстве, а затем функционирование детали в составе изделия или сложной технической системы под действием приложенных внешних и внутренних физических воздействий. В настоящее время разработан и находит применение широкий спектр конструкционных материалов, обладающих той или иной совокупностью свойств. Задача конструктора – выбрать из потенциального множества имеющихся материалов наиболее рациональный, т.е. получить максимальное качество при минимальной себестоимости детали и изделия в целом, что позволило бы повысить мощности выпускаемых машин, их надежность, экономичность и конкурентоспособность. Для этого должен быть решен вопрос о расширении и

систематическом обновлении номенклатуры и ассортимента конструкционных материалов, внедрении высокоэффективных методов повышения их прочностных свойств, коррозионно- и износостойкости; об увеличении производства новых композитных конструкционных материалов; изделий на основе порошковой металлургии, порошков- 8 сплавов, заменяющих черные и цветные металлы; широком применении малооперационной и безотходной технологии, а также прогрессивной технологии обработки.

Теория: Долговечность – свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения (постепенного отказа), обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени (ресурса). Причины потери работоспособности разнообразны: развитие процессов усталости, изнашивания, ползучести, коррозии и др. Эти процессы вызывают постепенное накопление необратимых повреждений в материале и его разрушение. Обеспечение долговечности материала означает уменьшение до требуемых значений скорости его разрушения. Для большинства деталей машин (более 80%) долговечность определяется сопротивлением материала усталостным разрушениям 17 (циклической долговечностью) или сопротивлением изнашиванию (износостойкостью). Циклическая долговечность характеризует работоспособность материала в условиях многократно повторяющихся циклов напряжений. Она тем выше, чем ниже скорость зарождения и скорость развития трещины усталости. Износостойкость характеризует сопротивление материала разрушению поверхности путем отделения его частиц под воздействием силы трения. Износостойкость оценивают величиной, обратной скорости изнашивания. Долговечность деталей, работающих при высоких температурах (детали энергетических установок, двигателей), определяется скоростью ползучести – скоростью развития пластической деформации при постоянном (ниже предела текучести) напряжении. Ограничение скорости ползучести достигается применением жаропрочных материалов. Долговечность деталей, работающих в атмосфере нагретых сухих газов или жидких электролитов, зависит от скорости химической или электрохимической коррозии. Работоспособность в таких средах сохраняют жаростойкие и коррозионно-стойкие материалы. Таким образом, работоспособность материала детали в условиях эксплуатации характеризуют следующие критерии конструкционной прочности: 1) критерии прочности $\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$, σ_{-1}, которые при заданном запасе прочности определяют допустимые рабочие напряжения, массу и размеры деталей; 2) модуль упругости E, который при заданной геометрии детали определяет величину упругих деформаций, т.е. ее жёсткость; 3) пластичность δ, ψ, ударная вязкость KCT, KCV, KCU, вязкость разрушения K1c, порог хладноломкости t50, которые оценивают надежность материала в эксплуатации; 4) циклическая долговечность, скорости изнашивания, ползучести, коррозии, определяющие долговечность материала.

Классификация конструкционных сталей Сталями называют железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14%. По сравнению с другими материалами стали имеют высокую прочность, пластичность, хорошо поддаются термической, химико-термической и механической обработке. Стали классифицируют по химическому составу, качеству, степени раскисления, структуре, прочности и назначению. По химическому составу стали классифицируют на углеродистые и легированные. По концентрации углерода те и другие подразделяют на низкоуглеродистые (0,7% С). Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на хромистые, марганцовистые, хромоникелевые, хромокремнемарганцевые и многие другие. По количеству введенных элементов их разделяют на низко-, средне- и высоколегированные.

В низколегированных сталях количество легирующих элементов не превышает 5%, в среднелегированных содержится от 5 до 10%, в высоколегированных – более 10%. 23 По качеству стали классифицируют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные в зависимости от вредных примесей. Стали обыкновенного качества содержат до 0,055% S и 0,045% P, качественные – не более

0,04% S и 0,035% P, высококачественные – не более 0,025% S и 0,025% P, особо высококачественные – не более 0,015% S и 0,025% P.

Рис.1. Конструкционные материалы

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие. Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации. Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Кипящие стали раскисляют только марганцем. Перед разливкой в них содержится повышенное количество кислорода. Кипящие стали производят низкоуглеродистыми и практически без кремния (Si < 0,07%), но с повышенным количеством газообразных примесей. Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими. При классификации стали по структуре учитывают особенности ее строения в отожженном и нормализованном состояниях. По структуре в отожженном (равновесном) состоянии конструкционные стали бывают: 1) доэвтектоидные – структура избыточного феррита; 2) эвтектоидные – структура перлита; 3) аустенитные; 4) ферритные. По структуре после нормализации стали подразделяют на перлитный, мартенситный, аустенитный, ферритный классы. Стали перлитного класса имеют невысокую устойчивость переохлаждённого аустенита. При охлаждении на воздухе они приобретают структуру перлита, сорбита или троостита. К этому классу относятся углеродистые и низколегированные стали. Стали мартенситного класса отличаются высокой устойчивостью переохлаждённого аустенита; при охлаждении на воздухе они закаливаются на мартенсит. К этому классу относятся средне- или высоколегированные стали. Стали аустенитного класса из-за повышенного количества никеля или марганца (обычно в сочетании с хромом) имеют интервал мартенситного превращения ниже 0°С и сохраняют аустенит при 20–25°С . Структурный класс аустенитных и ферритных сталей совпадает по классификации как в отожжённом, так и нормализованном состояниях [1].

По прочности, оцениваемой пределом прочности, конструкционные стали с некоторой условностью можно разделить на стали нормальной (средней) прочности ($\sigma_в$ < 1000 МПа), повышенной прочности ($\sigma_в$ < 1500 МПа) и высокопрочные ($\sigma_в$ > 1500 МПа). По назначению конструкционные стали подразделяют на машиностроительные, предназначенные для изготовления деталей машин и механизмов, и строительные, используемые для металлоконструкций и сооружений. Наиболее распространены четыре процесса термической обработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Отжиг, характеризуемый медленным охлаждением (вместе с печью или на воздухе) после нагрева и

выдержки при некоторой температуре деталей и заготовок, проводят для снижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием отливок, проката и поковок из углеродистых легированных сталей, а также для снятия остаточных напряжений в конструкциях после сварки или предварительной (черновой) обработки резанием. Для углеродистых и углеродистых легированных сталей проводят полный отжиг – нагрев до температуры, превышающей на 30–50 °С температуру превращения объемноцентрированной решетки железа в гранецентрированную кубическую решетку (обычно 800– 900°С), выдержку при этой температуре, медленное охлаждение до 400–600°С вместе с печью и далее на воздухе.

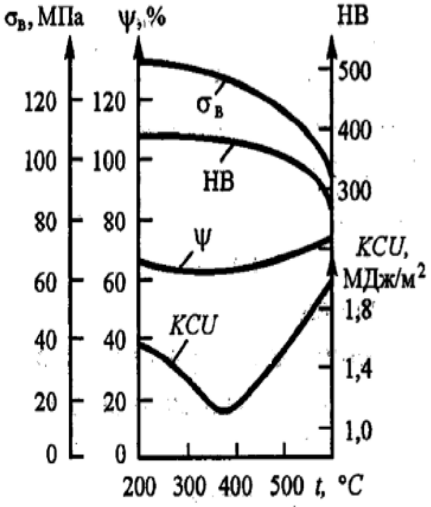


Рис.2. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали

Для низкоуглеродистых высоколегированных сталей 12Х2Н4А, 20Х2Н4А и др., используемых для изготовления зубчатых колес, применяют низкотемпературный (высокий) отжиг при температуре 650–670 °С и медленное охлаждение (чаще всего на воздухе). Используют и другие виды отжига, которые отличаются от высокого отжига температурой нагрева и скоростью охлаждения. Нормализация отличается от полного отжига характером охлаждения, которое после выдержки производят на воздухе. Ее применяют для получения однородной структуры с более высокой твердостью и прочностью, чем после отжига, для исправления структуры сварных швов, выравнивания структурной неоднородности поковок и отливок, а также для улучшения обрабатываемости резанием сталей. Закалка отличается от полного отжига и нормализации высокой скоростью охлаждения заготовок или деталей после нагрева до температуры превращения и выдержки при этой температуре. Высокая скорость охлаждения достигается за счет использования в качестве охлаждающей среды воды, масла, водных растворов солей NaOH, NaCL и др. В результате металл приобретает мелкозернистую однородную структуру с высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, но пониженной пластичностью и более трудной обрабатываемостью резанием. Систематизация конструктивных решений, направленных на обеспечение износостойкости деталей машин, представляет большой интерес для машиностроения, но является очень сложной задачей, т. к. может насчитывать десятки тысяч предложений и вариантов решения. В этой связи рассмотрим отдельные из них. Исключение внешнего трения [2]. Конструктивных решений, позволяющих исключить внешнее трение сопряженных деталей, достаточно много. Так, например, отсутствует внешнее трение в мембранных насосах, предназначенных для перекачивания жидкостей. Резиновые мембраны применяются в поршневых насосах.

В качестве примера неравномерного изнашивания профиля можно привести затупление лезвий различных режущих инструментов. Устранить такой недостаток можно конструктивно–технологическими приемами, обеспечивающими определенную степень

равномерности профиля лезвия, т. е. его самозатачиванием. Например, эффект самозатачивания для ножей куттеров, широко применяемых в мясоперерабатывающей промышленности, может быть получен 38 при использовании двухслойного ножа при соотношении твердости более износостойкого слоя к твердости менее износостойкого слоя в пределах 18 … 22. Долговечность таких ножей в 6-12 раз выше долговечности однослойных ножей обычной конструкции.

Наплавка износостойких слоев. Это один из наиболее распространенных способов восстановления изношенных деталей. Все известные виды наплавки имеют общие металлургические физико-химические основы. К ним относятся: расплавление наносимого металла с частичным расплавлением поверхностного слоя детали, перемешивание расплавов, кристаллизация. Наибольшее распространение получила электродуговая наплавка (ручная, полуавтоматическая), наплавка под слоем флюса плазменно-дуговая. Наилучшие результаты получаются тогда, когда удается исключить контакт наплавленного металла с кислородом воздуха, для этого процесс проводят в среде углекислого газа, аргона и их смесей [3].

В технике для подшипников скольжения широко применяются электролитические покрытия деталей оловом, свинцом, и другими мягкими и пластичными металлами и сплавами. Использование таких покрытий позволяет ускорить приработку поверхностей деталей. Чаще всего для этих целей используются оловянные и олово-свинцовые покрытия. Современная техника позволяет применять алюминиевые сплавы для изготовления передней и задней панелей, облицовки дверей и других подобных деталей кузова. Прогресс в технике изготовления материалов сделал возможным использование специальных термообработанных сплавов алюминия в несущих элементах кузова автомобиля. Эти материалы характеризует не только чрезвычайно высокая прочность, но и очень высокая способность к энергопоглащению. Несмотря на неоспоримые преимущества сплавов из алюминия не следует, однако, упускать из виду, что алюминий является «материалом высокой технологии», и работа с ним связана с повышенными технологическими требованиями.

Литература:

1. Казьмин Б.Н., Зюзин А.А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы., учебное пособие. Липецк: ЛГТУ, 2008. -178 с.

2. Кузьмин Ю.А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобилестроении, Учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 186 с.

3. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки. Учебное пособие. Москва: Издательский центр «Академия», 2008. -336 с.

Structural and protective finishing materials

Tashlykova O.A[1], Portnyagina A.V.[1], Gerasimov S.N.[1a], Kobzova I.O.[1]

[1]Bratsk State University, st. Makarenko, 40, Bratsk, Russia
[a]sdm_gerasimov@rambler.ru

Keywords: materials, alloys, power loads, steels, strength, durability, parts, structural class.

This article discusses structural and protective finishing materials, their properties, as well as types of annealing. The use of steels in modern technology and details.

УДК 539.41

Развитие энергетического метода приближенных расчетов сложных конструкций на примере проектирования площадки обслуживания

Горунович С. Б.[1,a]

[1]У-ИТЭЦ ООО «Байкальская энергетическая компания», г. Усть-Илимск, Россия
[a]Gorunovich@uitec.baikalenergy.com

Ключевые слова: энергетический метод, площадка обслуживания, максимальный прогиб, прочность.

В данной работе мы продолжили исследование, разработанного в [1] энергетического метода расчетов сложных конструкций. Целью нашей работы явилось развитие данного метода на примере площадки обслуживания в процессе проектирования. Во введении мы подчеркнули, что данная проблема остается актуальной и сегодня.

В частности мы подвергли численной проверке возможность использования разработанных ранее зависимостей. Для этого мы использовали приложение реализующее алгоритм конечно-элементного анализа с открытой архитектурой, находящуюся в открытом доступе. Использовались расчетные модели – изгиб прямоугольной площадки обслуживания, подкрепленной ребрами; изгиб прямоугольной площадки обслуживания, подкрепленной ребрами с ограждением. Для дальнейшего развития метода мы дополнили варианты нагружения сосредоточенной силой. Окончательно доказали, что в расчетах вариационным методом прямоугольных пластин настила площадки наиболее рациональным является использование уравнения упругой линии изгиба балки в качестве базисной функции.

Следовательно, можно утверждать, что предложенный энергетический метод является приемлемым и экономически эффективным инструментом проектирования и расчета на прочность площадок обслуживания.

Сложные конструкции – конструкции, состоящие из некоторого числа простых элементов – деталей, которые, как правило, представляют собой различные расчетные модели, являются обычными сборочными или монтажными узлами и единицами зданий, сооружений и машин. Поэтому сложно недооценить возможность эффективно и оперативно оценить прочность и надежность всей конструкции «в целом». В настоящее время ведутся широкие исследования в данной области, в частности: используются новые энергетические методы, где вводится понятие критических уровней энергии [2]; находят развитие методы предельных состояний [3]; изучается надежность структурных систем зданий и сооружений [4].

Стоит напомнить, что используемые при этом сложные программные приложения не всегда доступны, требуют дополнительного обучения и поэтому в широкой практике инженерных расчетов находят ограниченное применение [5]. Поэтому наиболее популярными все еще остаются упрощенные модели и методы сопротивления материалов, которые дают хоть и приближенный, но надежный результат по проверенным на практике формулам.

Впрочем, находящиеся в открытом доступе программные приложения с открытой архитектурой могут быть использованы для тестирования упрощенных методов расчета формулами. В данном исследовании использовался программный пакет для метода конечных элементов (КЭ) и оптимизации топологии Z88 «Aurora» V3. Автором является профессор Байройтского университета Фрэнк Риг с командой сотрудников-единомышленников. Сейчас данное программное обеспечение используется несколькими университетами, а также малыми и средними предприятиями. Сравнительные тесты,

проведенные в 2007 году, как утверждает автор, показали производительность данного продукта на уровне коммерческого программного обеспечения.

В нашем исследовании использовались трехмерные модели Z88 «Aurora» V3 из прямоугольных объемных КЭ №1 с 8 узлами. Данный тип КЭ известен как наиболее простой и универсальный, как для построения моделей из толстых плит, так и для линейных, балочных моделей. Данное обстоятельство позволило избежать необходимости использовать в одной модели КЭ различного типа, что в данной версии Z88 «Aurora» не возможно. Так как КЭ №1 не является специализированным для построения моделей пластин и балок, проводились сравнения моделей пластин из КЭ №1 с двухмерными моделями пластин из КЭ №20, когда как для балок достаточно было использовать обычные формулы курса «Сопротивление материалов».

Напомним, что расчетная модель площадки обслуживания, представляет собой пластину с ребрами и ее прочностной анализ представляет собой нетривиальную задачу, сохраняющую актуальность и по сей день [6-8]. Прямоугольная площадка обслуживания (с размерами L × B × H) представляет собой составную сварную конструкцию из следующих элементов: перила верхние и нижние (Пв, Пн); стойки перил (С); отбортовочная полоса (О); настил (Н); ребра продольные и поперечные (Р1, Р2), рис.1.

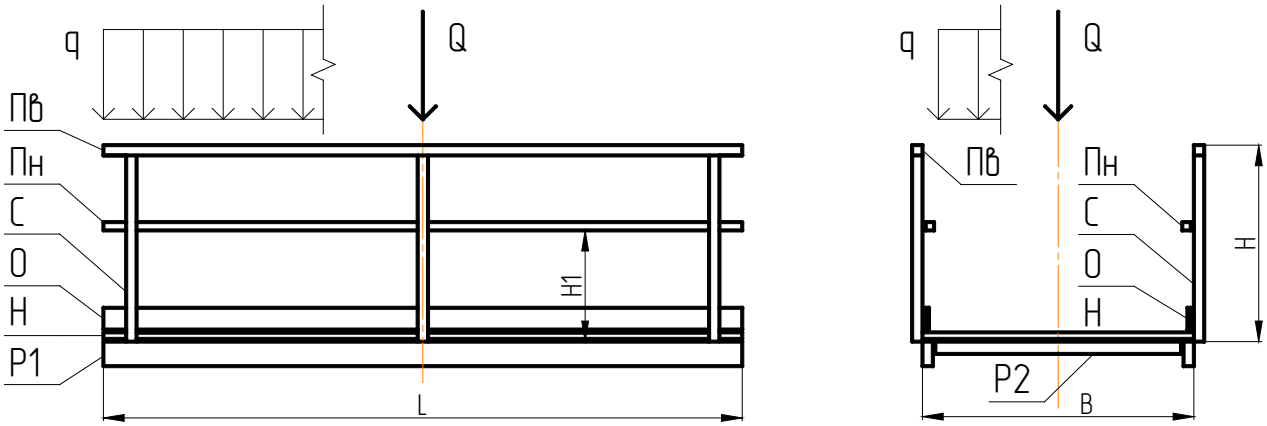


Рис.1. Площадка обслуживания

Приведем результаты численной тестирования зависимостей полученных в [1] на примере прямоугольных площадок обслуживания, равномерно нагруженных распределенной нагрузкой энергетическим методом, рис.1. В расчетах приняты следующие размеры площадки: *l*=3 м; *b*=1,5 м; *D*=4154 Па·м^3; ребра жесткости Р1, Р2 прямоугольного сечения 0,075×0,006 м (*JP1*=2,109×10-7 м4) и 0,0375×0,006 м (*JP2*=2,637×10-8 м4), соответственно; на верхние и нижние перила используем ленту 0,006×0,030 м (*JПВ*= *JПН*=5,4×10-10 м4). Действует равномерно распределенная нагрузка на настил qs. Для выполнения условия равномерности нагружения [1] модуль упругости поперечного ребра Р2 был уменьшен в два раза (EP2=1,05×1011 Па, EP1=E=2,1×1011 Па,). В случае цилиндрического изгиба учитывалась жесткость элементов ограждения Пв, Пн, а также элементов контура площадки КП (*JКП*= 2,058×10-7 м4). При этом жесткость ограждения О можно считать составляющей контура. Результаты для различных вариантов закрепления сведем в табл. 1.

Численная проверка предложенных формул в целом доказывает эффективность последних. Например, расхождение значений максимальных прогибов не превышает 20%. При этом заметно явное расхождение следующих результатов:

а) в п.1 табл. 1 численное максимальное напряжение в ребре Р1 существенно выше, вычисленного по формуле (146 и 213 МПа);

б) в п.3 табл. 1 численное максимальное напряжение в настиле Н существенно выше, вычисленного по формуле (43 и 128 МПа).

Таблица 1

Результаты расчетов нагрузки на площадку обслуживания

№ п/п	Модель	Элементы конструкции. Состав	Значение q_s, Н/м^2	Максимальный прогиб, м		Максимальное напряжение в элементах Н и Р1, МПа	
				расчетный w_{max}	результат в Z88, рис.	расчетные по формуле	результат в Z88, рис.
1	Шарнирное опирание по всему контуру	Настил Н; ребра Р1 длиной l с шагом s_l = 0,5 м – 2 шт.; ребра Р2 длиной b с шагом s_b =1 м – 2 шт.	3530	0,02	0,022; рис.2	в Р1 – 146; в Н – 56	213; 54; рис.3
2	Жесткое опирание по всему контуру	Настил Н; ребра Р1 длиной l с шагом s_l = 0,5 м – 2 шт.; ребра Р2 длиной b с шагом s_b = 1 м – 2 шт.	4686	0,006	0,0065; рис.4	в Р1– 132,7; в Н – 52,5	144; 54,3; рис.5
3	Цилиндрический изгиб с жестким опиранием	Настил Н; ребра Р1 длиной l с шагом s_l = 0,5 м – 2 шт.; перила Пв, Пн, элементы контура площадки КП – 2 шт.	11490	0,02	0,025; рис.6	в Р1– 560; в Н – 43	693; 128; рис.7

Первое расхождение (а) объясняется существенной разницей в высоте ребер Р1 и Р2 расчетной модели, вследствие чего не выполняется условие $q_{P1i} \approx q_{P2i}$., т.к. линии изгиба ребер не находятся в одной плоскости. Здесь q_{P1i}, q_{P2i} – значения распределенной нагрузки, действующей на продольные и поперечные ребра соответственно [1]. Данное условие является предпочтительным для равномерной загрузки площадки. Следовательно в данном случае требуется вычисление моментов инерции ребер Р1, Р2 относительно единой плоскости изгиба конструкции.

Второе расхождение (б) объясняется отклонением характера деформации настила от модели цилиндрического изгиба. Как заметно на рис.6, 7 изгиб настила Н частично происходит и в поперечном направлении. Т.е. необходима дополнительная проверка прочности настила Н в рамках модели жесткого опирания в пространстве между ребрами.

Произведем пример экономического анализа по результатам расчетов п.2, табл.1 (жестко опертой по всему контуру пластины с ребрами). В случае равномерной загрузки ребер без учета несущей способности настила значение равномерно распределенной нагрузки на ребра:

$$q_{P1} = q_{P2} = \frac{q_s l \cdot b}{\left(n_l l + n_b b\right)} = \frac{4686 \cdot 3 \cdot 1{,}5}{(2 \cdot 3 + 2 \cdot 1{,}5)} = 2343\ H/м,$$

где n_l, n_b – количество продольных и поперечных ребер. На практике расчет несущей способности площадки именно так и производят – всю нагрузку распределяют по длинам ребер. В представленном методе с учетом несущей способности настила Н [1]:

$$q_{P1} = \frac{6144 E_{P1} J_{P1}}{l^4 b^4} w_{\max} s_l^{\,2} (s_l - b)^2, q_{P2} = \frac{6144 E_{P2} J_{P2}}{l^4 b^4} w_{\max} s_b^{\,2} (s_b - l)^2.$$

получим значения $q_{P1i} = q_{P2i}$ = 995,6 Н/м. Недооценка несущей способности площадки в %:

$$[(2343/995{,}6) – 1]\cdot 100\% = 135{,}3\%.$$

Результат наглядно показывает, что данный метод может привести к существенной экономии материала при изготовлении площадок обслуживания.

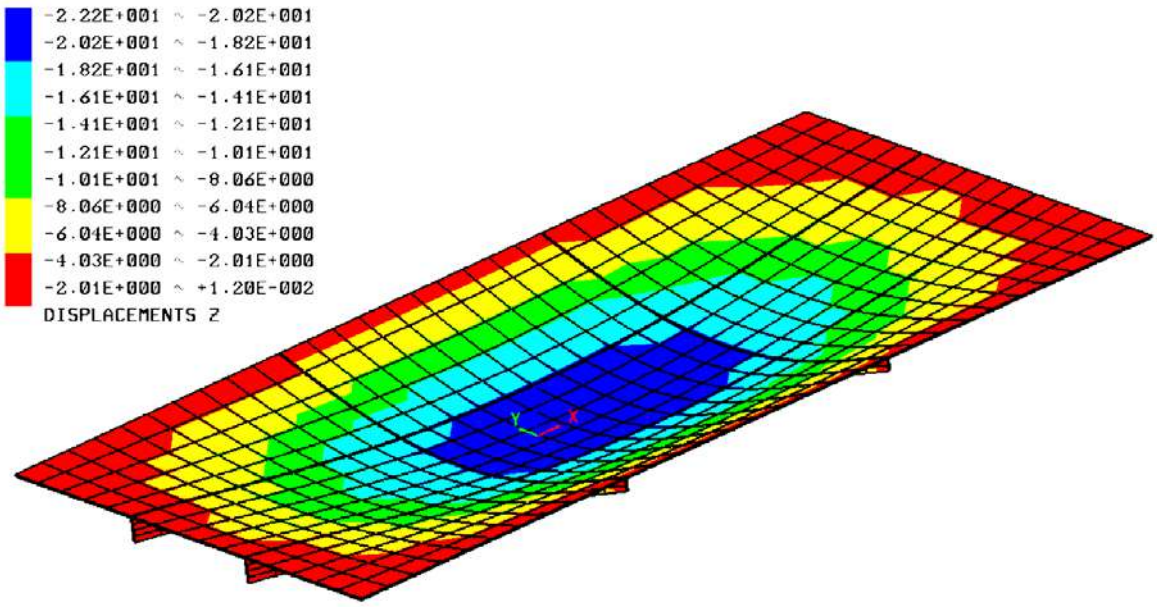


Рис.2. Поле прогибов шарнирно закрепленной площадки (Z88 AURORA V3), мм

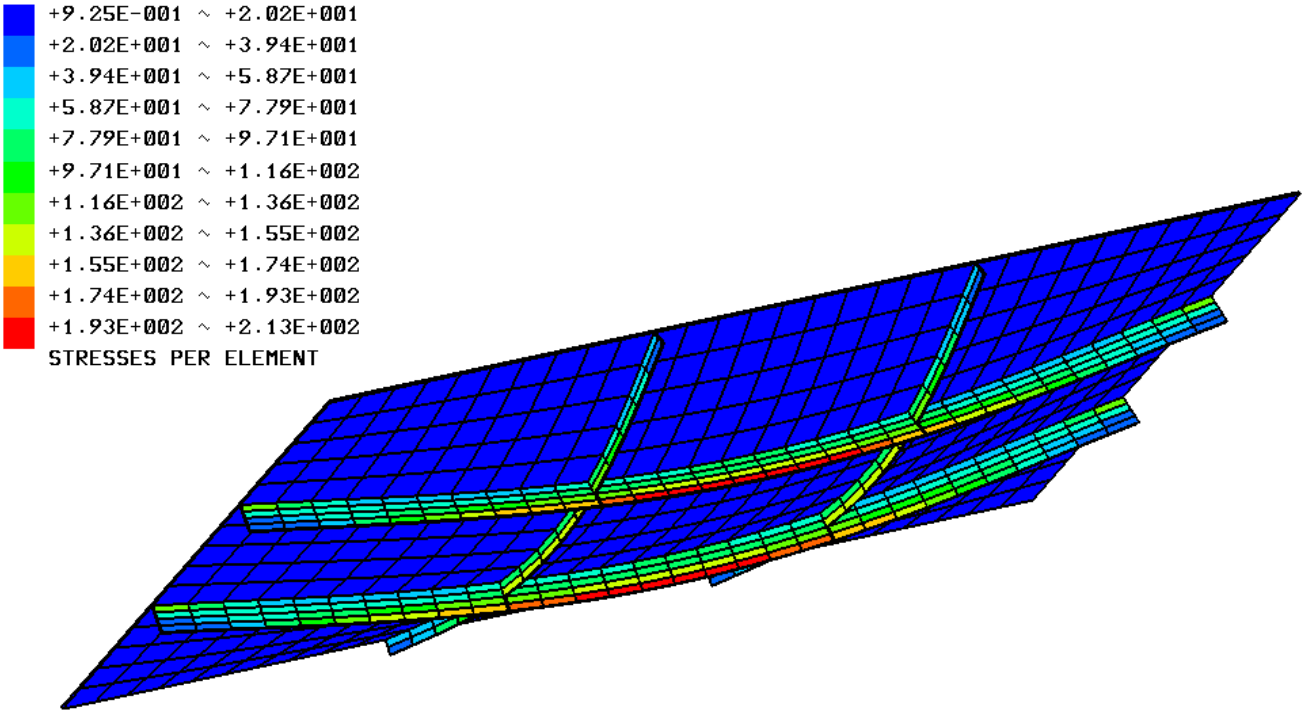


Рис.3 Распределение эквивалентных напряжений шарнирно закрепленной площадки (Z88 AURORA V3), МПа

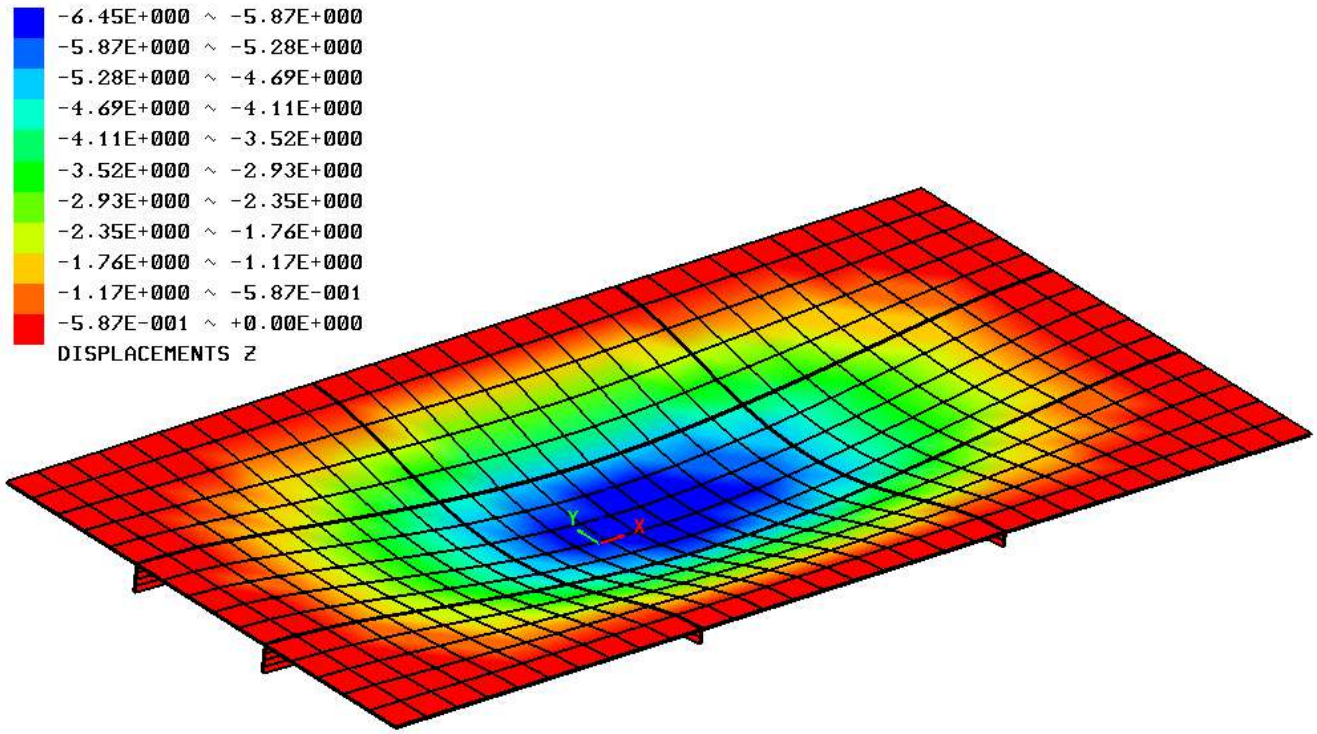


Рис.4. Поле прогибов жестко закрепленной площадки (Z88 AURORA V3), мм

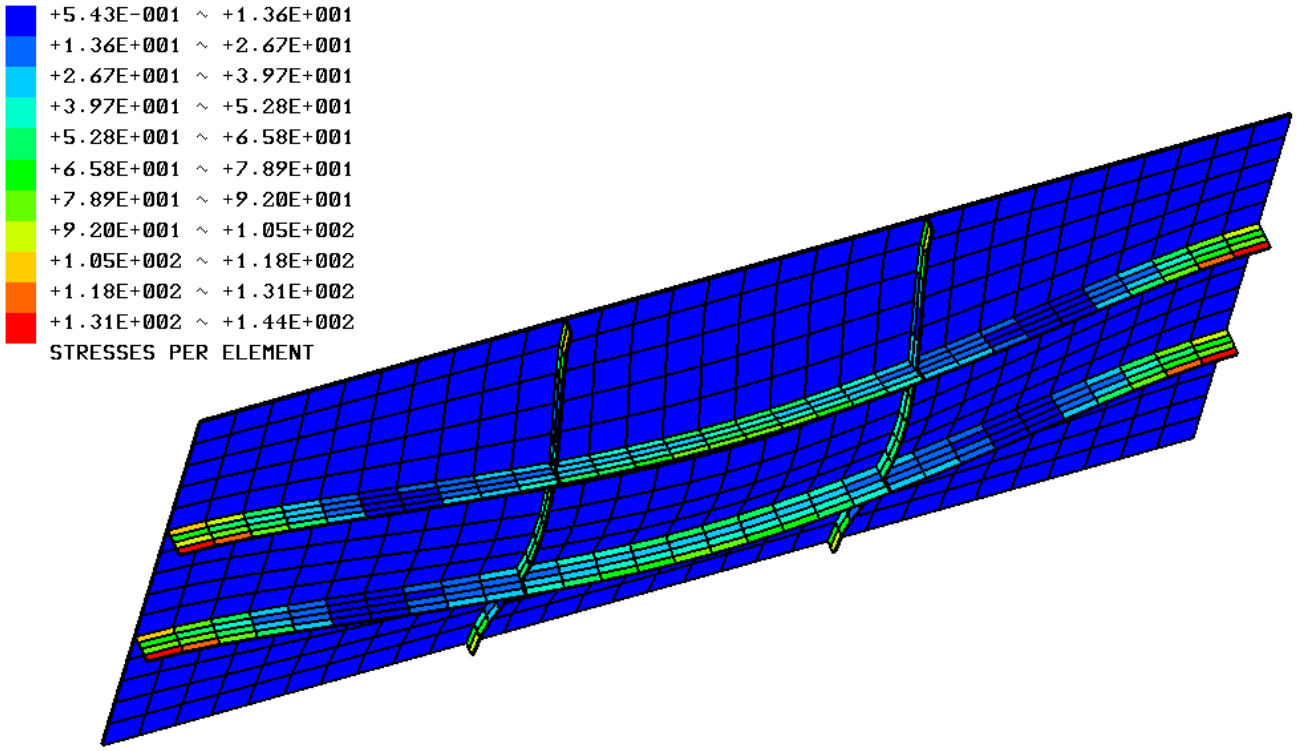


Рис.5. Распределение эквивалентных напряжений жестко закрепленной площадки (Z88 AURORA V3), МПа

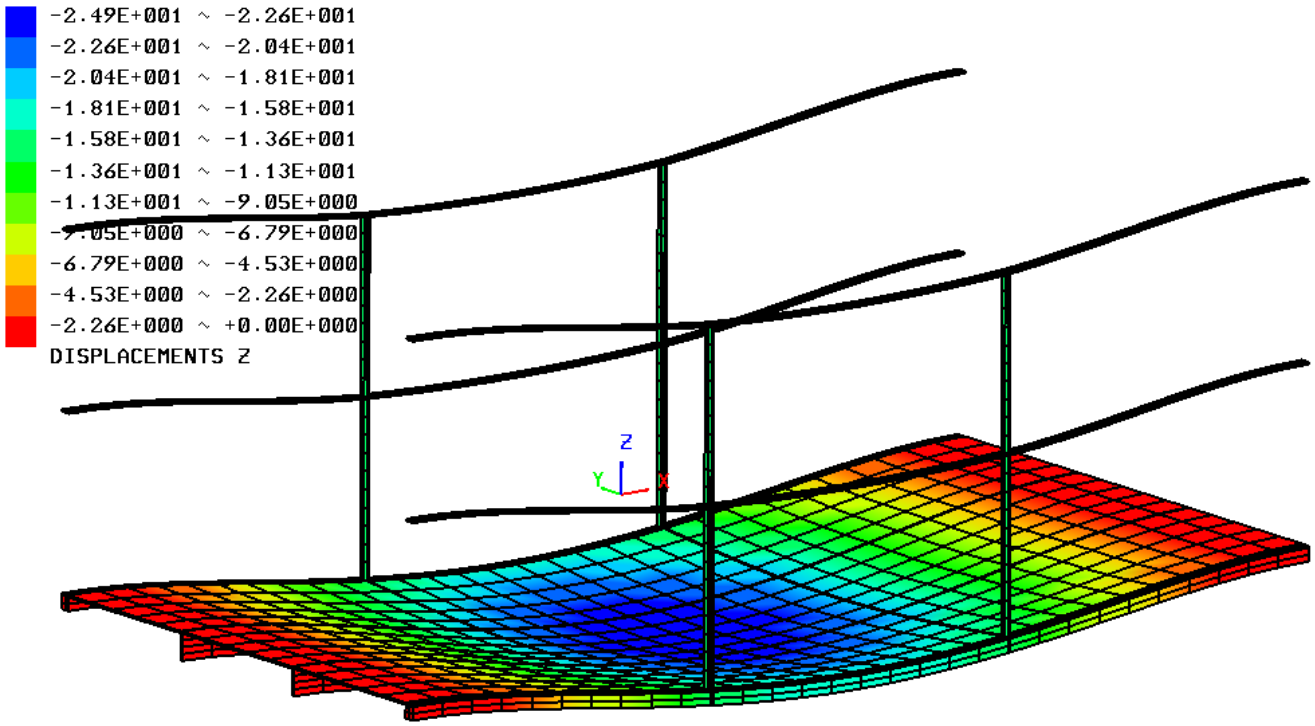


Рис.6. Поле прогибов площадки при цилиндрическом изгибе с жестким опиранием (Z88 AURORA V3), мм

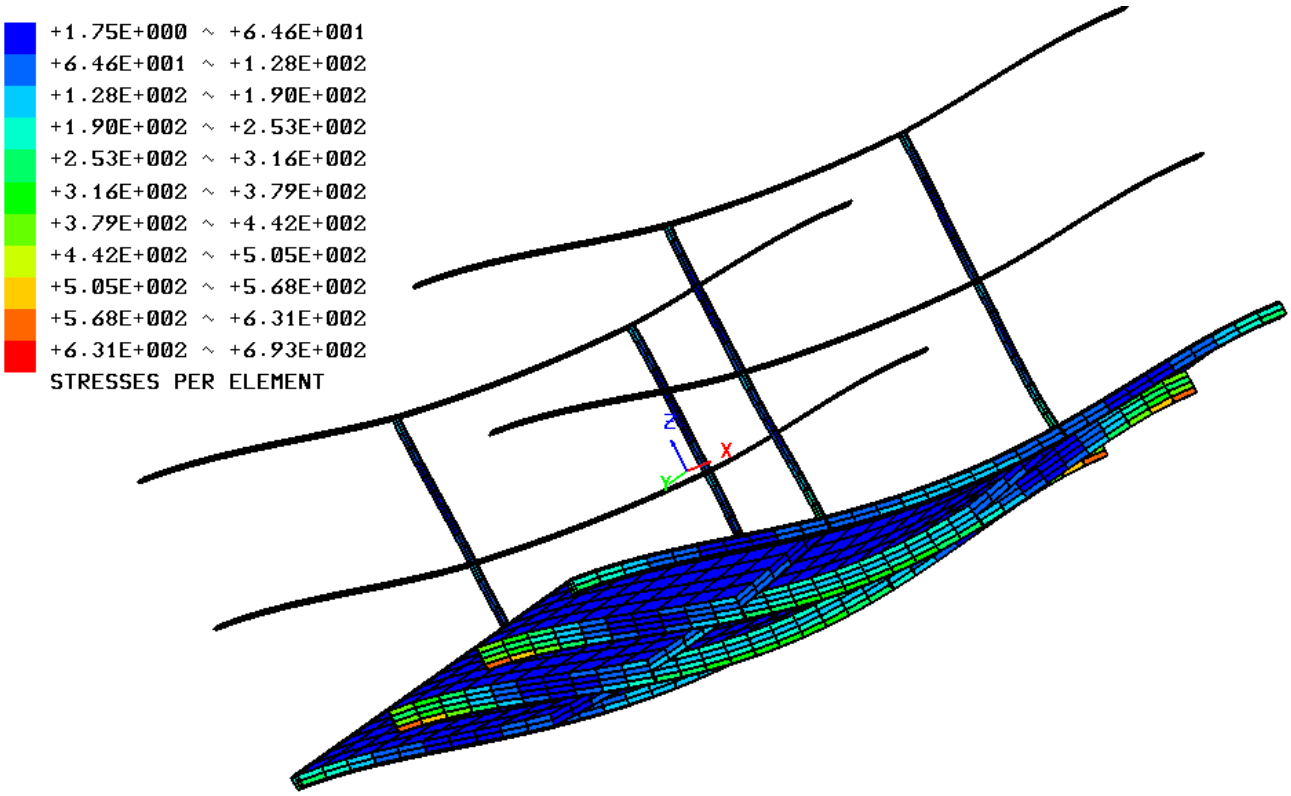


Рис.7. Распределение эквивалентных напряжений при цилиндрическом изгибе с жестким опиранием (Z88 AURORA V3), мм

В нашей работе метод [1] нашел свое развитие на аналогичных моделях нагруженных сосредоточенной силой.

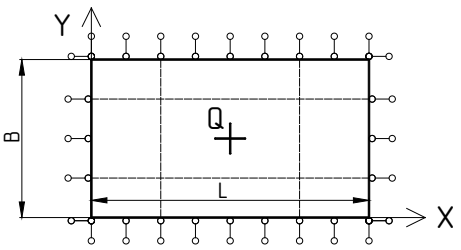
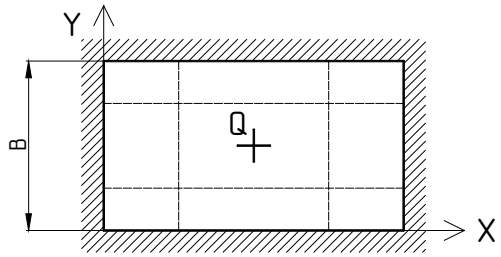
Расчетная модель на рис.1 была дополнена нагружением сосредоточенной силой Q (Н) вместо распределенной нагрузки q (Н/м^2). В практике проектирования инженеры иногда сталкиваются с необходимостью определить максимальный груз, который можно расположить на площадке без ущерба для основных несущих элементов. Расчет площадки производится по допускаемым максимальным прогибам настила w_{max} согласно своду правил «Нагрузки и воздействия» СП 20.13330.2016.

Как ранее отмечено, на характер деформаций существенное влияние оказывает характер закрепления элементов конструкции (граничные условия). Изгиб настила – прямоугольной пластины, определяет характер деформации остальных элементов: ребер Р1, Р2; перил Пв, Пн; отбортовочной полосы О. При этом внешняя сила – сосредоточенная сила Q приходится на середину настила (за исключением случая консольного опирания) и на его максимальном прогибе производит работу. Следовательно, поиск требуемого поля перемещений сводится к определению функции прогибов *w(x, y)* прямоугольной пластины с заданными граничными условиями, под действием сосредоточенной силы.

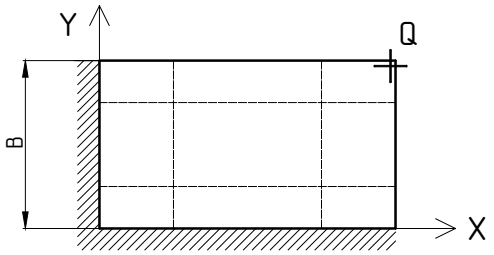
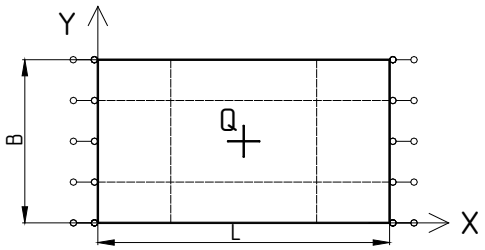
Как было упомянуто ранее [1], в процессе реализации метода необходим поиск требуемого поля перемещений, который сводится к определению функции прогибов *w(x, y)* прямоугольной пластины с заданными граничными условиями. Приведем найденные функции прогибов для данной модели, которые имеют самостоятельное практическое значение для расчета пластин, табл.2. Расположение единичной сосредоточенной силы Q на площадке условно обозначено «крестиком» на схеме.

Таблица 2

Функции прогибов

№ п/п	Схема опирания	Формула
1	*2*	*3*
1	Шарнирное опирание по всему контуру 	$w(x,y)=\frac{175Q}{48D(85b^4+168b^2l^2+85l^4)}\times$ $\times\left[x\left(3l^2-4x^2\right)\right]\left[y\left(3b^2-4y^2\right)\right]$ при $x \le l/2$; $y \le b/2$.
2	Жесткое опирание по всему контуру 	$w(x,y)=\frac{175Q}{12D(65b^4+42b^2l^2+65l^4)}\times$ $\times(4x^3-3lx^2)(4y^3-3by^2)$ при $x \le l/2$; $y \le b/2$.

Продолжение таблицы 2

1	*2*	*3*
3	Жесткое опирание двух соседних перпендикулярных сторон (консольное) 	$w(x,y)=\frac{175Q}{D(55b^4+55l^4+224b^2l^2-210b^2l^2\nu)}\times$ $\times\left[\frac{x^3}{3}-lx^2\right]\left[\frac{y^3}{3}-by^2\right].$
4	Цилиндрический изгиб с шарнирным опиранием 	$w(x)=\frac{Q}{48bD}\left[x\left(3l^2-4x^2\right)\right],$ при $x \le l/2$.

В случае цилиндрического изгиба искомую функцию определяем простой заменой в формуле для прогиба балки отношения физико-механических констант *Q/EJ* на *Q/(bD)*. Здесь *Q* – сосредоточенная сила; *E* – модуль упругости материала; *J* – момент инерции сечения балки; *D* – цилиндрическая жесткость пластины; ν – коэффициент Пуассона.

Точность, полученных функций прогибов *w(x, y)* также подвергалась проверке численным примером с помощью программного пакета Z88 AURORA V3, где использовались специальные КЭ №20 для двухмерных модель пластин, рис. 8,9.

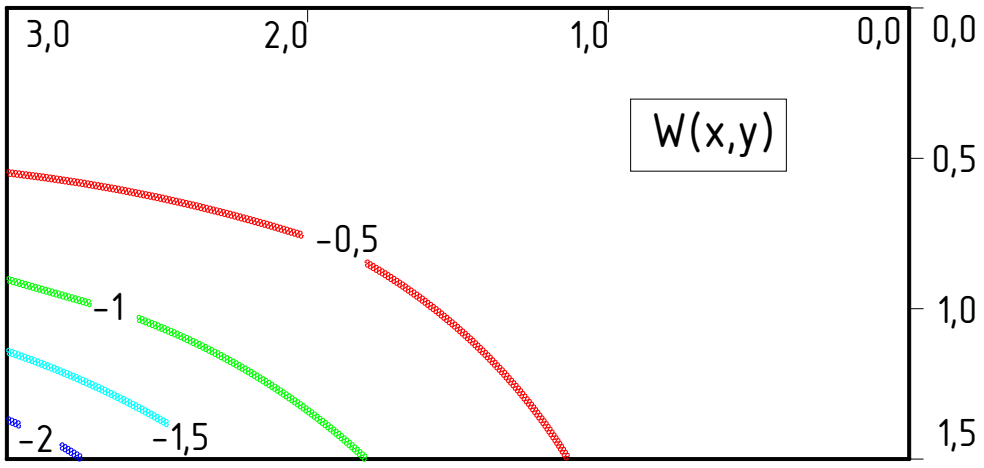


Рис.8. Поле прогибов консольно-закрепленной пластины. Контурный график, м

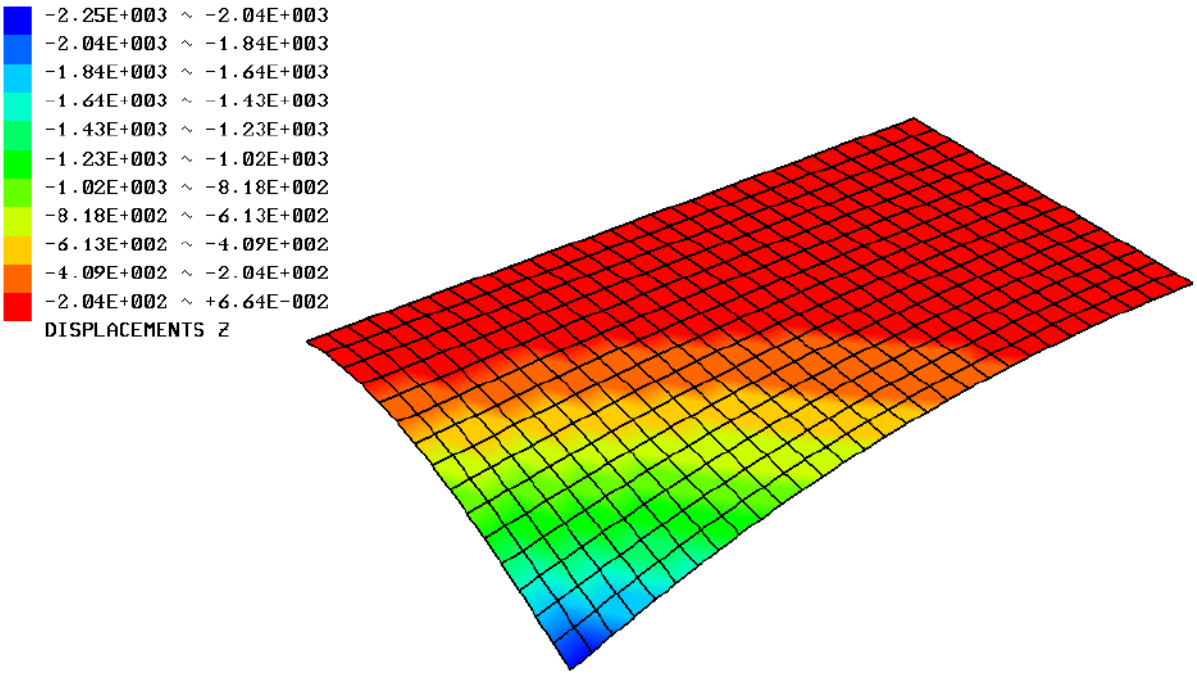


Рис.9. Поле прогибов консольно-закрепленной пластины (Z88 AURORA V3), мм

В данном примере использовались следующие величины: размеры площадки l=3 м, b=1,5 м; D= 1231 Па·м^3; равномерно распределенная нагрузка q=3000 Н/м^2.

Можно убедиться, что максимальные значения прогибов 1,33 м (Z88 AURORA V3) и 1,48 м (п. 3, табл. 2) различаются всего на 10%, что является вполне приемлемым для приближенных формул. Характер распределения прогибов практически идентичен.

Приведем пример зависимости для определения максимальной единичной силы для модели площадки п. 4, табл. 2 (цилиндрический изгиб с шарнирным опиранием):

$$Q_{S4} = \frac{48 w_{\max}\left[bD + n_l J_{P1} E + 2(J_{ПВ} + J_{ПН})E\right]}{l^3}, \qquad (1)$$

где w_{max} – заданный максимальный прогиб площадки при $x=l/2$, J_{P1}, $J_{ПВ}$, $J_{ПН}$, – соответственно моменты инерции продольных ребер Р1, верхних и нижних перил (Пв и Пн по две в формуле).

Сравнивая выражение (1) с выражением из справочника по сопротивлению материалов для определения распределенной нагрузки при изгибе балки длиной l, можно сделать вывод, что (1) можно получить из последнего путем замены относительной жесткости балки EJ на более сложное выражение $\left[bD + n_l J_{P1} E + 2(J_{ПВ} + J_{ПН})E\right]$. Следовательно, чтобы получить (1) в случаях модели цилиндрического изгиба нет необходимости следовать сложной процедуре [1].

К тому же важно отметить, что данная модель совпадает с расчетной моделью многослойной конструкции в случае несовпадении нейтральной линии изгиба слоев, когда каждый слой имеет свою нейтральную линию, проходящую через свой геометрический центр сечения, со своим радиусом [9]. В (1) роль слоев выполняют элементы конструкции.

Приведем пример максимальной нагрузки, полученной энергетическим методом, для модели площадки п. 1, табл. 2 (шарнирное опирание по всему контуру):

$$Q_{S1} = Q_H + \left(\frac{D(85b^4 + 168b^2l^2 + 85l^4)}{175 \cdot Q_H b^3 l^3}\right)\left[\sum_{i=1}^{n_l}\left(\frac{{Q_{P1i}}^2 l^3}{EJ_{P1i}}\right) + \sum_{i=1}^{n_b}\left(\frac{{Q_{P2i}}^2 b^3}{EJ_{P2i}}\right)\right], \qquad (2)$$

где Q_H, Q_{P1i}, Q_{P2i}, – предполагаемые значения единичных сил на каждый элемент (настил Н, продольные Р1 и поперечные Р2 ребра), вызывающие максимальный прогиб настила w_{max}.

Очевидно, что нагрузка на элементы выражается через заданный прогиб w_{max}:

$$Q_H = \frac{48 w_{\max} D}{175 b^3 l^3}\left[85b^4 + 168 b^2 l^2 + 85 l^4\right], Q_{P1i} = \frac{-48 E J_{P1i}}{l^3}\left[\left(\frac{w_{\max}}{b^3}\right) s_{li}\left(4 s_{li}{}^2 - 3b^2\right)\right],$$
$$Q_{P2i} = \frac{-48 E J_{P2i}}{b^3}\left[\left(\frac{w_{\max}}{l^3}\right) s_{bi}\left(4 s_{bi}{}^2 - 3l^2\right)\right], \quad (3)$$

где s_{li}, s_{bi} – расстояния от края пластины до соответствующего ребра Р1i, Р2i (координаты ребер).

Последние вычисления (3) имеют значение для первоначальной проверки элементов на прочность, т.е. задаваясь прогибами важно осуществить проверку на допускаемые напряжения в сечениях элементов и подобрать необходимые сечения.

Приведем пример максимальной нагрузки для модели площадки п.2, табл.2 (жесткое опирание по всему контуру):

$$Q_{S2} = Q_H + \left(\frac{D(65b^4 + 42 b^2 l^2 + 65 l^4)}{175 \cdot Q_H b^3 l^3}\right)\left[\sum_{i=1}^{n_l}\left(\frac{Q_{P1i}{}^2 l^3}{E J_{P1i}}\right) + \sum_{i=1}^{n_b}\left(\frac{Q_{P2i}{}^2 b^3}{E J_{P2i}}\right)\right]. \quad (4)$$

Нагрузка на элементы, выраженная через заданный прогиб w_{max}:

$$Q_H = \frac{192 w_{\max} D}{175 b^3 l^3}\left[65b^4 + 42 b^2 l^2 + 65 l^4\right], Q_{P1i} = \frac{-192 E J_{P1i}}{l^3}\left[\left(\frac{4 w_{\max}}{b^3}\right)\left(4 s_{li}{}^3 - 3 s_{li}{}^2 b\right)\right],$$
$$Q_{P2i} = \frac{-192 E J_{P2i}}{b^3}\left[\left(\frac{4 w_{\max}}{l^3}\right)\left(4 s_{bi}{}^3 - 3 s_{bi}{}^2 l\right)\right]. \quad (5)$$

Приведем пример максимальной нагрузки для модели площадки п.3, табл.2 (жесткое опирание двух соседних, перпендикулярных сторон):

$$Q_{S3} = Q_H + \left(\frac{3D(55b^4 + 224 b^2 l^2 + 55 l^4 - 210 b^2 l^2 \nu)}{700 b^3 l^3 \cdot Q_H}\right)\left[\sum_{i=1}^{n_l}\left(\frac{Q_{P1i}{}^2 l^3}{E J_{P1i}}\right) + \sum_{i=1}^{n_b}\left(\frac{Q_{P2i}{}^2 b^3}{E J_{P2i}}\right)\right]. \quad (6)$$

Нагрузка на элементы, выраженная через заданный прогиб w_{max}:

$$Q_H = \frac{9 D w_{\max}(55b^4 + 224 b^2 l^2 + 55 l^4 - 210 b^2 l^2 \nu)}{700 b^3 l^3},$$
$$Q_{P1i} = \frac{9 E J_{P1i}}{l^3}\left(\frac{w_{\max}}{2b^3}\right)\left[s_{li}{}^2 b - \frac{s_{li}{}^3}{3}\right], Q_{P2i} = \frac{9 E J_{P2i}}{b^3}\left(\frac{w_{\max}}{2l^3}\right)\left[s_{bi}{}^2 l - \frac{s_{bi}{}^3}{3}\right]. \quad (7)$$

В целом исследование позволило сделать следующие выводы:

1) в качестве уравнений совместности деформаций для расчетов площадок обслуживания целесообразно использовать функции прогибов прямоугольной пластины с заданными граничными условиями, под действием заданной нагрузки, что подтверждается анализом с использованием МКЭ;

2) подтвердилось, что для моделирования функции перемещений (прогибов) пластины (настила) под действием заданной нагрузки для различных вариантов опирания

удобно использовать базисные функции – формулы прогибов балок из справочника по сопротивлению материалов;

3) погрешность метода зависит от степени равномерности распределения нагрузок на элементы, что соответствует принятой модели прогибов пластины под действием равномерно-распределенной нагрузки;

4) использование метода позволяет существенно экономить материалы в процессе проектирования и изготовления площадок обслуживания.

Литература:

1. Горунович С.Б. Приближенные расчеты сложных конструкций энергетическим методом на примере проектирования площадки обслуживания // Механики XXI веку. 2022. № 21. С. 213–222.

2. Ступишин Л.Ю., Мошкевич М.Л. Задача об определении «Слабого звена» в конструкции на основе критерия критических уровней энергии // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2. С. 11–23.

3. Кузнецов Д.Н., Федосова Л.А. Анализ развития метода предельных состояний для расчета строительных конструкций // Строительная механика и конструкции. 2020. № 4. С. 74–81.

4. Song J., Kang W.H., Lee Y.J., Chun J. Structural system reliability: overview of theories and applications to optimization // ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems. Part A: Civil Engineering. Vol. 7. No. 2, 2021. P. 1–25

5. Головачев Д.А., Попов В.Ю., Барсукова Е.А., Чиркова А.Н., Павлова Н.А. Сравнительный анализ «тяжёлых» систем автоматизированного проектирования // Механики XXI веку. 2021. № 20. С. 90–93.

6. Малинин Г.В. Методики расчета ребристых пластин на прочность и устойчивость // Труды МАИ. 2021. №121. URL: http://trudymai.ru/upload/iblock/763/mz8xfo5df9laz51bdk94m3tjbmh0jk6u/Malinin_red_1_.pd

7. Кадомцева Е.Э., Сикачева Н.В., Кирсанов Ю.А. Расчет на прочность пластины, подкрепленной ребрами жесткости, на упругом основании обратным методом // Инженерный вестник Дона. №1. 2018. URL: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4628

8. Sapountzakis E.J., Katsikadelis J.T. A Realistic estimation of the effective breadth of ribbed plates // International Journal of Solids and Structures. Vol. 39, No.4, 2002. P. 897–910.

9. Горунович С.Б. Анализ напряженно-деформированного состояния многослойной балки при поперечном изгибе // Механики XXI веку. 2019. № 18. С. 291–296.

Development of the energy method for approximate complex structure calculations on the example of maintenance platform designing

Gorunovich S.B.[1,a]

[1]Ust-Ilimsk thermal power plant, “Baikal energy company”, Ust-Ilimsk, 666684, Russian Federation
[a]Gorunovich@uitec.baikalenergy.com

Keywords: energy method, maintenance platform, maximum bending value, strength.

In this study, we kept on analyzing the energy calculation method of complex composite structures elaborated in [1]. Our work purpose was to evolve this method on the example of maintenance platform designing. In the introduction, we emphasized that this problem still resists.

In particular, we subjected the previously developed formulas to digital programs test. To do this, we used an application implementing an finite element analysis algorithm with open architecture, which is now for free access. Calculation models were used – a rectangular maintenance platform supported by ribs; rectangular maintenance platform supported by ribs with a fence under bending uniformly distributed load. Proceeding method, we added the loading

option: we elaborated dependencies with point force loading. It was finally proved the using equation of the elastic bending beam line as a basic function to be the most rational way of variational method calculations of rectangular plates.

Therefore, it can be argued the proposed energy method to be a very handy and cost-effective tool for designing and the maintenance platforms strength calculations.

УДК 539.3

Напряженно-деформированное состояние подвешенной на тросах системы трех балок при различных видах закрепления

Фисенко Е.Н.[1,a], Сабиров Р.А.[1,b]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнева пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31, г. Красноярск, Россия
[a]rashidsab@mail.ru

Ключевые слова: прогибы балок, метод начальных параметров, нелинейное программирование, регулирование прогибов и внутренних сил, обезвешивание балок.

Три металлические балки подвешены на шести тросах. Эта система трех балок закрепляется в торце. Рассматриваются два вида закрепления системы: шарнирно-неподвижное и жесткое опирание. Применен метод начальных параметров, с учетом шарнирных соединений балок. Требуется вычислить усилия натяжения тросов, чтобы сумма квадратов прогибов упругой линии балки была минимальной. Задача сводится к нелинейному программированию; в качестве ограничений выступают уравнения равновесия. Вид закрепления (шарнирное закрепление или заделка) в определенной степени влияет на балку первую от закрепления; силы натяжения тросов, найденные из условия минимума прогибов, выравнивают деформированное и напряженное состояние. В последующих балках усилия натяжения тросов практически не отличаются, то есть не зависят от вида закрепления первой балки.

Введение. Проблема оптимального и рационального проектирования конструкций и систем актуальна в технике, особенно аэрокосмической технике. Сложность конструкций, требующая учета многочисленных факторов, влияющих на прочность и жесткость, усложняет как физическое, так и математическое моделирование. К этим факторам можно отнести и способы закрепления конструкций.

В задаче рассматривается система трех балок, подвешенная на тросах, которая закрепляется в торце. Требуется выяснить, как влияет вид закрепления (шарнирное закрепление или заделка) на силы натяжения тросов, так и на деформированное и напряженное состояние.

Постановка задачи. Система трех связанных между собой шарнирами двутавровых балок, поддерживается шестью тросами. Задача дискретная; назначим 18 точек на трех балках, одинаково отстоящих друг от друга, в которых вычисляются прогибы (длина каждой балки – L; количество точек на всех балках – n). Требуется найти минимум целевой функции [1]:

$$F = \sum_{k=1}^{n} \left[v(z_k) \right]^2 \to \min, \; z_k = k(L/n), \qquad k = 1, 2, 3, ..., n. \tag{1}$$

где $v(z_k)$ – искомый прогиб; z_k – координата точки; k – номер точки.

Система балки–тросы, есть статически неопределимая система. Для вычисления прогибов используем метод начальных параметров [2,3]. К уравнениям (1) добавим уравнения равновесия, которые понимаем как систему ограничений к целевой функции.

Решение. Пусть $L = 6\,м$; $E = 2\cdot10^{11}\,Па$; $J = 200\cdot10^{-8}\,м^4$; $q = 100\,H/м$. – (собственный вес). Результаты расчетов (эпюры) представим на рис. 1 – 3 в системе СИ.

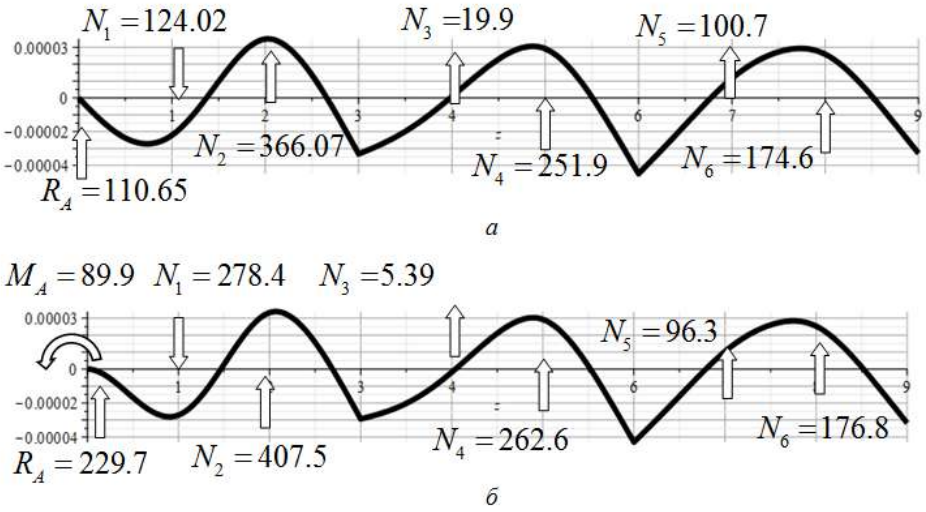


Рис. 1. Прогибы системы трех балок при:
а) шарнирном закреплении; б) жесткой заделке

Угол поворота первой (у опоры) балки при ее шарнирном опирании равен $5,78\cdot10^{-5}\,рад.$ а изгибающий момент при жестком защемлении балки равен $89,9\,H\cdot м$. Отсюда, чтобы обе системы балок были эквивалентными, можно на первой, шарнирно закрепленной балке установить упругую пружину жесткостью $1,5кH\cdot м/рад$.

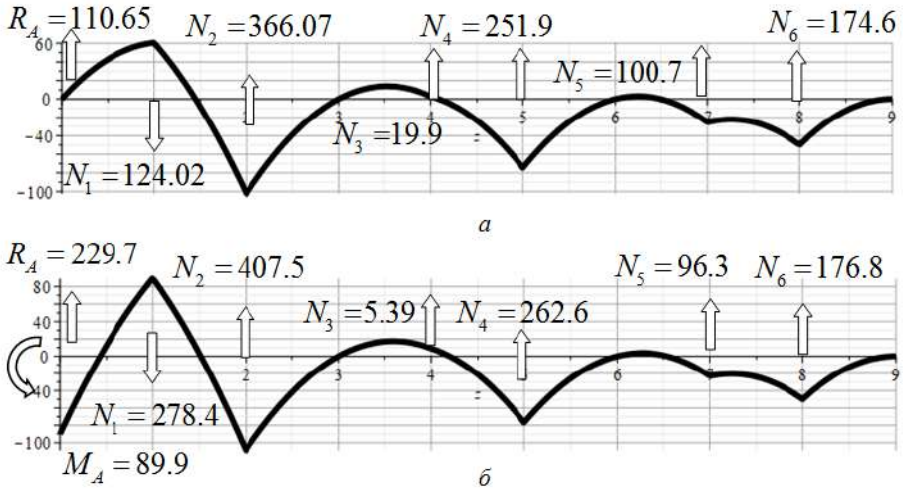


Рис. 2. Изгибающие моменты в системе трех балок при:
а) шарнирном закреплении; б) жесткой заделке

Вывод. Из рисунков видим, что в обоих случаях закрепления максимальные прогибы имеет точка, в которой шарнир, соединяет вторую и третью балки: $v_{шарнир} = 4,5003\cdot10^{-5}\,м$ – шарнирное опирание; $v_{заделка} = 4,307\cdot10^{-5}\,м$ – жесткая заделка. Среднеквадратичные прогибы [4], соответственно равны: $\delta_{шарнир} = 2,396\cdot10^{-5}\,м$ и $\delta_{заделка} = 2,301\cdot10^{-5}\,м$.

На первой балке усилия натяжения тросов равны: $N_1^{шарнир} = 124.02H$ и $N_1^{заделка} = 278.4H$ – разница 220%; $N_2^{шарнир} = 336,07H$, $N_2^{заделка} = 407.5H$ – разница 21%. На третьей балке усилия

натяжения тросов равны: $N_5^{шарнир} = 100,7H$ и $N_5^{заделка} = 96,3H$ – разница 4,5%; $N_6^{шарнир} = 174,6H$ и $N_6^{заделка} = 176.8H$ – разница 0,13%.

Вид закрепления (шарнирное закрепление или заделка) в определенной степени влияет на балку первую от закрепления; силы натяжения тросов, найденные с условием минимума прогибов, выравнивают деформированное и напряженное состояние. В последующих балках усилия натяжения тросов практически не отличаются, то есть не зависят от вида закрепления первой балки.

Литература:

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.:Мир. 1975, – 536 с.
2. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. — Киев.: Наука. 1975. — 400 с.
4. Микеладзе Ш.Е. Численные методы математического анализа. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы. 1953. – 528 с.

The stress-strain state of a system of three beams suspended on cables with various types of fastening

Fisenko E.N[1,a], Sabirov R.A.[1,b]

[1]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarskiy Rabochiy pr., Krasnoyarsk, Russia.
[a] rashidsab@mail.ru

Keywords: deflections of beams, method of initial parameters, non-linear programming, control of deflections and internal forces, weightlessness of beams.

Three metal beams are suspended on six cables. This system of three beams is fixed at the end. Two types of system fastening are considered: hinge-fixed and rigid support. The method of initial parameters is applied, taking into account the hinged joints of the beams. It is required to calculate the tensile forces of the cables so that the sum of the squared deflections of the elastic line of the beam is minimal. The problem is reduced to non-linear programming; the equilibrium equations act as constraints. The type of fastening (hinged fastening or termination) to a certain extent affects the first beam from fastening; the tension forces of the cables, found with the condition of minimum deflections, equalize the deformed and stressed states. In subsequent beams, the tension forces of the cables practically do not differ, that is, they do not depend on the type of fastening of the first beam.

УДК 669.018

К вопросу о современных аморфных металлических материалах

Гиннэ С.В.[1,a]

[1]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. им. газеты Красноярский рабочий 31, Красноярск, 660037, Россия
[a]svetlanaginneh@rambler.ru

Ключевые слова: аморфные металлические материалы, аморфные металлы, аморфные металлические сплавы.

В работе отражены результаты информационно-аналитического обзора научных трудов, посвящённых исследованию аморфных металлических материалов. Рассмотрены основные виды наиболее распространённых аморфных металлических материалов и разработана их обобщённая система классификации, согласно которой всю совокупность изучаемых материалов можно разделить на бинарные аморфные металлические материалы (сплавы переходных металлов с металлоидами, сплавы переходных металлов друг с другом, сплавы переходных металлов с редкоземельными элементами, сплавы двухвалентных металлов друг с другом, сплавы двухвалентных металлов с переходными металлами) и многокомпонентные аморфные металлические материалы (на основе железа, кобальта, палладия, никеля, гафния и других металлов). Выявлены и описаны специфические особенности внутреннего строения аморфных металлических материалов, уточнена сущностная характеристика данных материалов и представлена общая классификация методов исследования их структуры.

На протяжении последних десятилетий специалистами инженерной отрасли уделяется пристальное внимание исследованиям, ориентированных на применение в различных областях науки и техники вместо традиционных конструкционных материалов более совершенных материалов, которые соответствуют современным высоким требованиям технологичности [1–7]. По этой причине за последние годы в промышленном производстве появился целый ряд новых типов конструкционных материалов, среди которых особое место занимают аморфные металлы и аморфные металлические сплавы, считающие одной из последних инноваций материаловедения, являющиеся принципиально новыми видами материалов с необычным сочетанием свойств, представляющие, по мнению экспертов, большой интерес как с научной, так и с практической точек зрения [1, 2, 4–8]. Таким образом, можно говорить об актуальности работы по системному анализу ключевых характеристик аморфных металлических материалов в контексте перспектив их использования при проектировании и создании различных индустриальных объектов и изделий. Решение обозначенной цели исследования предполагает: 1) рассмотрение основных разновидностей наиболее распространённых аморфных металлических материалов и разработку обобщённой системы их классификации; 2) уточнение сущностной характеристики аморфных металлических материалов посредством описания специфических особенностей их внутреннего строения; 3) представление общей классификации методов исследования структуры аморфных металлических материалов, необходимых для развития представлений о процессах и принципах формирования аморфных структур, так как эффективная разработка того или иного типа материала невозможно без понимания принципов формирования его внутреннего строения. Необходимость ответа на поставленные вопросы предопределила логику изложения материала данной статьи.

Изучение научно-технической литературы показало, что в настоящее время получены аморфные металлические материалы (АММ) на основе разнообразных металлических систем [1–2, 5–20]. Всю совокупность аморфных металлических материалов, используемых в промышленном производстве, можно разделить на бинарные и многокомпонентные (рис. 1). В свою очередь бинарные аморфные металлические материалы учёные разбивают на две подгруппы. Первую подгруппу бинарных АММ составляют сплавы переходных металлов с металлоидами, например, Pd – Si ($Pd_{80}Si_{20}$, $Pd_{82}Si_{18}$), Fe – P ($Fe_{75}P_{25}$, $Fe_{80}P_{20}$,), Fe – C ($Fe_{80}C_{20}$), Co – P ($Co_{80}P_{20}$, $Co_{78}P_{22}$), Ge – Ni ($Ge_{90}Ni_{10}$, $Ge_{70}Ni_{30}$), Ni – P ($Ni_{80}P_{20}$, $Ni_{76}P_{24}$) и другие. Вторую подгруппу бинарных АММ образуют четыре разновидностей сплавов: 1) сплавы переходных металлов друг с другом, например, Nb – Ni ($Nb_{60}Ni_{40}$, $Nb_{50}Ni_{50}$, $Nb_{40}Ni_{60}$), Ta – Rh ($Ta_{55}Rh_{45}$), Ta – Ni ($Ta_{50}Ni_{50}$) и другие; 2) сплавы переходных металлов с редкоземельными элементами (преимущественно тяжёлыми металлами), например, Gd – Co ($Gd_{50}Co_{50}$, $Gd_{56}Co_{44}$, $Gd_{58}Co_{42}$, $Gd_{60}Co_{40}$), Tb – Co ($Tb_{31}Co_{69}$, $Tb_{22}Co_{78}$, $Tb_{20}Co_{80}$), Tb – Cr ($Tb_{90}Cr_{10}$, $Tb_{59}Cr_{41}$, $Tb_{43}Cr_{57}$), Sm – Co ($Sm_{95}Co_5$) и другие; 3) сплавы двухвалентных (простых)

металлов друг с другом, например, Cu – Sn ($Cu_{88}Sn_{12}$, $Cu_{61}Sn_{39}$, $Cu_{50}Sn_{50}$), Ba – Cd ($Ba_{89}Cd_{11}$) и другие; 4) сплавы двухвалентных (простых) металлов с переходными металлами, например, Cu – Zr ($Cu_{57}Zr_{43}$, $Cu_{50}Zr_{50}$), Ti – Cu ($Ti_{50}Cu_{50}$) и другие. Среди многокомпонентных аморфных металлических материалов наибольшее промышленное применение получили АММ на основе железа, кобальта, палладия, никеля, гафния, циркония, гадолиния, титана и других металлов.

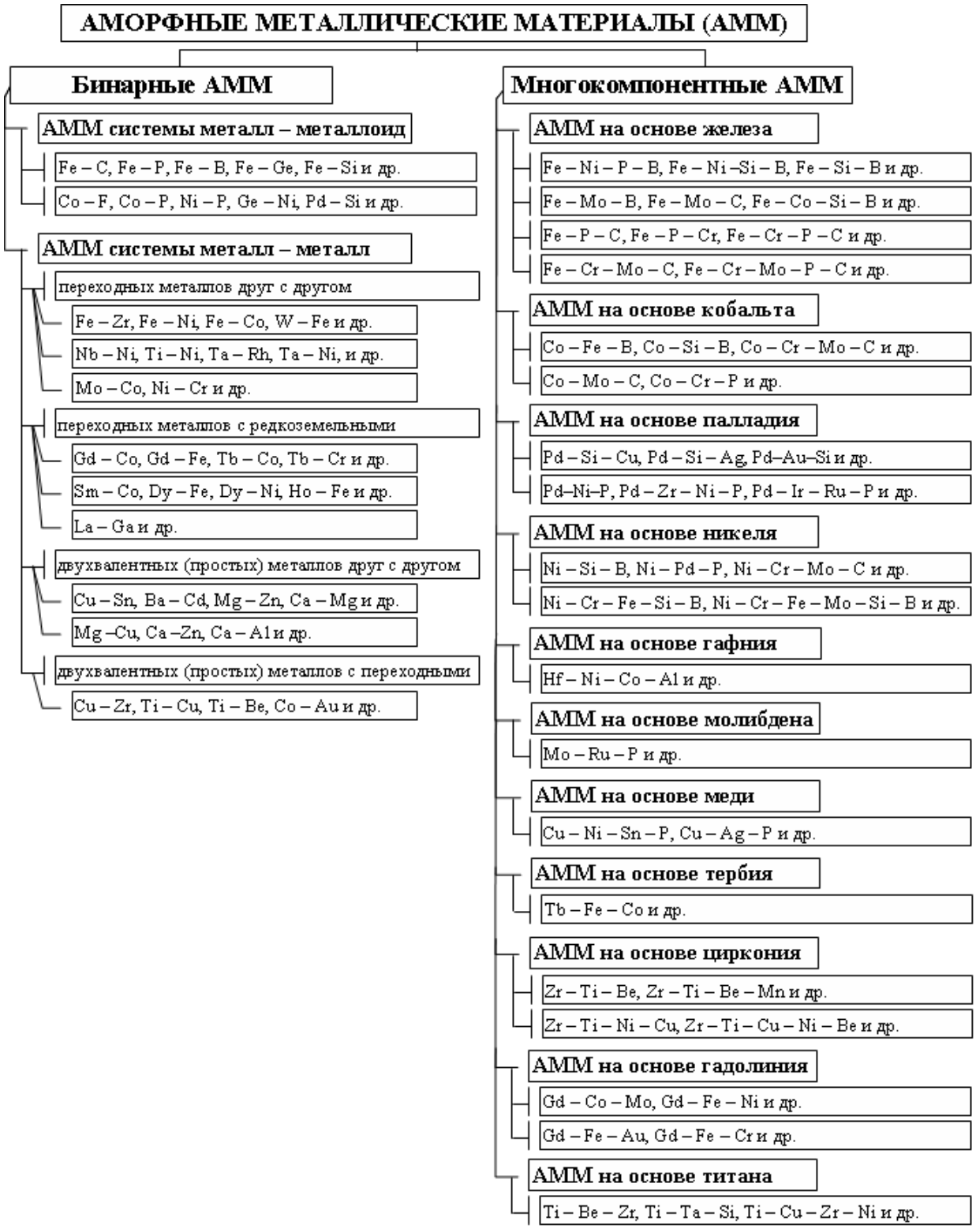


Рис. 1. Обобщённая система классификации наиболее распространённых аморфных металлических материалов

Переходя к описанию специфических особенностей внутреннего строения аморфных металлических материалов хотелось бы заметить, что происхождение термина «аморфный» связывают с греческим словом «αμορφηουσ», в переводе означающего «не регулярная форма» или «бесформенный» (α – не, μορφη – форма) [1, 10]. Опытные данные научных изысканий свидетельствуют о том, что: а) аморфная структура представляет собой мозаичный узор (непрерывный ряд), составленный из чередующихся многогранников, характерных для кристаллических и некристаллических структур; б) все многогранники, имеющие различную локальную плотность, взаимно связаны друг с другом без границ.

Среди современных трактовок понятия «аморфные металлические материалы» выделяется несколько аспектов интерпретации сущности данного феномена. Одни исследователи рассматривают аморфные металлические материалы как твёрдые конденсированные среды с неупорядоченным расположением атомов в пространстве или объекты физики конденсированных сред с ближним порядком расположения атомов, в результате чего эти материалы разительно отличаются по своим свойствам от традиционных металлических материалов, для которых характерно упорядоченное расположение атомов [2]. Другие специалисты квалифицируют аморфные металлические материалы как неупорядоченные неравновесные системы, то есть атомы таких веществ располагаются беспорядочно, поэтому их структура имеет ближний порядок действия в отличие от дальнего порядка, характерного для поликристаллических металлических материалов [6, 10, 12]. Третьи эксперты, заявляя, что аморфные металлические материалы обладают своеобразной структурой и спецификой расположения атомов в пространстве, уточняют, что данные материалы имеют структуру подобную структуре стекла, где прослеживается только ближний порядок расположения атомов, и отсутствуют кристаллические структурные единицы, кристаллическая анизотропия, границы блоков, зёрен и другие дефекты структуры, свойственные поликристаллическим металлическим материалам [3, 13]. Представив несколько основополагающих, на наш взгляд, подходов к дефиниции сущности исследуемого феномена, определяем аморфные металлические материалы как твёрдые неравновесные системы на основе металлов с неупорядоченным расположением атомов в пространстве, то есть имеющие структуру подобную структуре стекла, где прослеживается только ближний порядок расположения атомов, и отсутствуют кристаллические структурные единицы, присущие твёрдым поликристаллическим материалам, из-за чего аморфные металлические материалы зачастую называют металлическими стёклами.

Развивая представления о процессах и принципах формирования аморфных структур посредством описания специфических особенностей внутреннего строения аморфных металлических материалов, А.Э. Морозова и Н.С. Рыжков замечают, что до настоящего времени нет прямых экспериментальных методов, которые могли бы дать однозначный ответ о структуре этих материалов. Все существующие методы исследования структуры аморфных металлических материалов условно делятся на прямые и косвенные (рис. 2).

Прямые методы исследования структуры аморфных металлических материалов, такие как рентгеноструктурный анализ и дифракционные методы, позволяют непосредственно изучать структуру аморфной фазы [12, 14, 15]. Рентгеноструктурный анализ включает: а) рентгенографию – метод большеуглового рассеяния рентгеновских лучей (метод изменяемого угла), являющийся наиболее распространённым методом научного изучения структуры аморфных металлических материалов (применяется гораздо более широко на практике, поскольку его проще реализовать технически), при использовании которого анализируются кривые рассеяния рентгеновских лучей или нейтронов аморфной фазой; б) метод изменения длины волны и другие методы. К дифракционным методам исследования относятся: а) нейтронная дифракция (нейтронография) – метод малоуглового рассеяния нейтронов (дифракция электронов): дифракция медленных электронов, дифракция электронов средней энергии, дифракция быстрых электронов; б) рентгеновская дифракция – метод малоуглового рассеяния рентгеновских лучей; в) электронная дифракция – просвечивающая электронная микроскопия и другие методы. При описании дифракционных

методов исследования специалисты отмечают два момента: 1) нейтронная и рентгеновская дифракция являются вторыми по частоте использования методами анализа структуры аморфных металлических материалов; 2) важнейшая особенность этих методов заключается в возможности изучения неоднородностей в структуре разупорядоченных систем, какими и являются аморфные металлические материалы (в абсолютно однородной среде малоугловое рассеяние отсутствует, и картина рассеяния заметно меняется при появлении в структуре каких-либо неоднородностей электронной плотности).

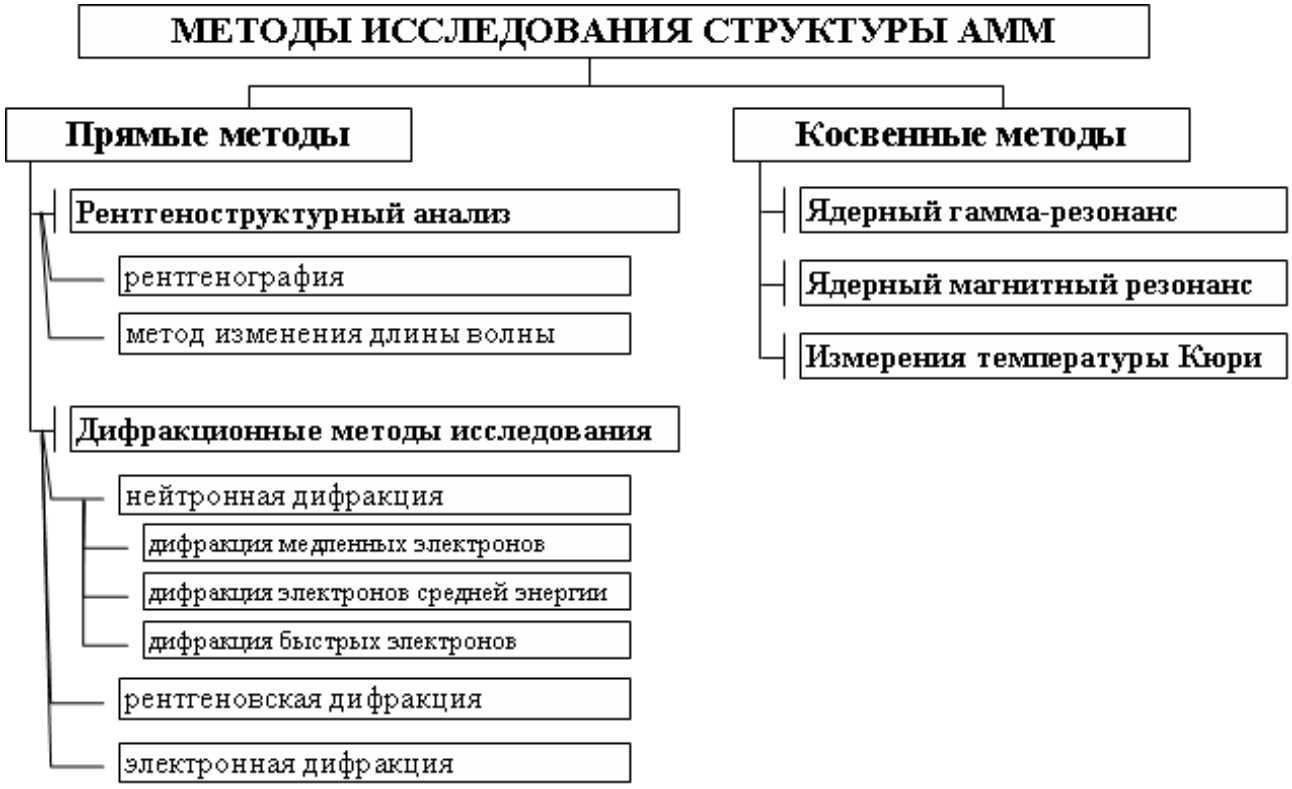


Рис. 2. Общая классификации методов исследования структуры аморфных металлических материалов

Косвенные методы исследования структуры аморфных металлических материалов позволяют изучать структуру аморфной фазы на основании измерения различных (некоторых) свойств, изменения которых отражают изменения в структуре. В данную группу методов входят: а) ядерный гамма-резонанс; б) ядерный магнитный резонанс; в) измерение температуры Кюри (по измерению температурных зависимостей магнитных свойств можно судить об изменении структуры, например, при нагреве ферромагнитного аморфного сплава $Fe_{27}Ni_{63}P_{14}B_6$ было обнаружено повышение температуры Кюри, а поскольку температура Кюри определяется ближайшим окружением атомов, её изменение, несомненно, свидетельствует об изменении структуры аморфной фазы) и другие методы [12, 14, 15].

Подводя итоги информационно-аналитического обзора научных идей о современных аморфных металлических материалах и особенностях их структуры, считаем возможным сформулировать некоторые общие выводы. Во-первых, аморфные металлические материалы (металлические стёкла) относятся к сравнительно новой группе веществ, открытие которых внесло большой вклад в науку о металлах и сплавах, существенно изменив наши представления о них. Во-вторых, аморфные металлические материалы обладают весьма широкими перспективами промышленного применения: за последние двадцать лет разработка новых конструкционных материалов с высокой термостойкостью и превосходными механическими свойствами привела к возрождению научно-исследовательской деятельности в области аморфных металлических материалов, в ходе

которой получены важные результаты при изучении их свойств. В-третьих, при создании аморфных металлических материалов для практического использования необходимо в полной мере учитывать не только технологические особенности их производства, но и основные факторы, влияющие на формирование аморфного состояния и свойства этих материалов. В этой связи, как подчёркивает ряд экспертов, полное завершение исследований по аморфным металлическим материалам ещё впереди, так как требует своего однозначного решения вопрос о структуре ближнего порядка в соответствии с реальной действительностью.

Литература:

1. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Аморфные металлические материалы // Силовая электроника. 2009. № 2. С. 86 – 89.
2. Золотухин И.В. Аморфные металлические материалы // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 4. С. 73 – 78.
3. Чемакин И.А. Применение аморфных сплавов в машиностроительной отрасли. Оценка практического применения исследуемого материала // Национальная ассоциация ученых (НАУ). 2022. № 77. С. 52 – 54.
4. Яковлев А.В. Закономерности формирования рельефа в аморфных металлических сплавах при локальном деформировании. Материаловедение в машиностроении // Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3. С. 474 – 478.
5. Стаценко Н.И., Васильченко К.А. Применение аморфных и нанокристаллических металлических сплавов в авиационных электрических машинах // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов III Международной научно-практической конференции, посвященной дню космонавтики (10 – 14 апреля 2017 года, г. Красноярск). В 3-х томах. 2017. Том 2. С. 545 – 546.
6. Inoue A. Bulk Glassy Alloys: Historical Development and Current Research // Engineering. 2015. Vol. 1. №. 2. P. 185 – 191.
7. Хохлова А.В., Христофоров А.И. Применение аморфных сплавов // Технологическая кооперация науки и производства: Новые идеи и перспективы развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 декабря 2018 г., г. Тюмень). 2018. С. 73 – 75.
8. Балымов К.Г. Магнитные свойства аморфных плёнок Gd–Co, Tb–Co и многослойных обменносвязанных плёночных структур на их основе: автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. 2011. 23 с.
9. Стогней О.В., Золотухин И.В., О.Рапп Спин-стекольное упрочнение аморфных сплавов Tb–Cr // Физика твердого тела. 1999. Том 41. Вып. 7. С. 1236 – 1239.
10. Анциферов В.Н., Шиляев А.И. Современные аморфные металлические сплавы // Труды ИМ УрО РАН «Проблемы механики и материаловедения». 2017. С. 339 – 348.
11. Кутенко Я.С. Аморфные металлические материалы // Молодежь и наука XXI века: материалы XIII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 томах. 2012. Том 1. С. 251 – 253.
12. Морозова А.Э., Рыжков Н.С. Аморфные ферромагнитные сплавы // Материалы 73 студенческой научно-практической конференции. 2017. С. 95 – 98.
13. Бойчишин Л., Ковбуз М., Герцик О., Носенко В., Котур Б. Влияние структурирования аморфных металлических сплавов $Al_{87}Y_{5-x}Gd_xNi_{8-y}$ (x = 0,1, 5; y = 0,4) на их механические свойства // Физика твердого тела. 2013. Том 55. Вып.2. С. 209 – 212.
14. Абросимова Г.Е. Эволюция структуры металлических стекол при внешних воздействиях: дисс. докт. физ-мат. наук. 2012. 294 с.
15. Liebermann H.H., Graham C.D., Jr. and Flanders P.J. Changes in Curie temperature, physical dimensions, and magnetic anisotropy during annealing of amorphous magnetic alloys // IEEE.Trans. Magn. 1977. Vol. 13. P. 1541.
16. Коновалов И.И., Маслов А.А., Орлов В.К. Литой аморфный сплав и способ изготовления литых аморфных изделий из этого сплава // Патент России № 2 064 020. 1996.
17. Inoue A., Wang X.M. Bulk amorphous FC20 (Fe–C–Si) alloys with small amounts of Band their crystallized structure and mechanical properties // Acta Materialia. 2000. Vol. 48. Iss.6. P. 1383 – 1395.
18. Зайцев С.А., Яковлев А.В., Васильева С.В. Аморфные металлические сплавы // Вестник ТГУ. 2012. Том17. Вып. 1. С. 147 – 148.

19. Яковлев А.В., Федоров В.А., Плужникова Т.Н., Кириллов А.М., Зайцев С.А., Федотов Д.Ю., Сидоров С.А., Буланкин А.С. Влияние нагрева и деформации на механические свойства аморфных и нанокристаллических металлических сплавов на основе Co и Fe // Вестник ТГУ. 2012. Том 17. Вып. 1. С. 144 – 146.

20. Клименко К.А., Ксендзов И.В., Холмов М.А., Подчерняев Д.С., Копылов А.П. Обзор аморфных сплавов и проблемы их применения в электроэнергетике // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2022. С. 93 – 98.

To the question about modern amorphous metallic materials

Ginne S.V.[1,a]

[1]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, the ave. of the newspaper the Krasnoyarsk worker 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[a]svetlanaginneh@rambler.ru

Keywords: amorphous metallic materials, amorphous metals, amorphous metal alloys.

The paper reflects the results of an information-analytical review of scientific papers devoted to the study of amorphous metallic materials. The main types of the most common amorphous metallic materials are considered and their generalized classification system is developed, according to which the entire set of studied materials can be divided into binary amorphous metallic materials (alloys of transition metals with metalloids, alloys of transition metals with each other, alloys of transition metals with rare earth elements, alloys of divalent metals with each other, alloys of divalent metals with transition metals) and multicomponent amorphous metallic materials (based on iron, cobalt, palladium, nickel, hafnium and other metals). The specific features of the internal structure of amorphous metallic materials are identified and described, the essential characteristics of these materials are clarified and a general classification of methods for studying their structure is presented in the article.

УДК 621.81

Применение МКЭ для анализа коэффициентов концентрации напряжений в стержнях при расчете на усталостную прочность

Неклюдова Г.А.[1,a,] Евтух Е.С.[1,b]

[1]Брянский государственный технический университет, бул. 50 лет Октября 7, Брянск, Россия
[a] galinanekludova@yandex.ru, [b] karmanova.helena@yandex.ru

Ключевые слова: анализ, сопоставление, метод конечных элементов, напряженное состояние, теоретические коэффициенты концентрации, стержень.

В статье рассматриваются теоретические коэффициенты концентрации напряжений для стержней сложной формы. Необходимым этапом расчета деталей на статическую или усталостную прочность является определение наибольших напряжений в опасных областях. Расчет деталей методами сопротивления материалов позволяет вычислить только номинальные напряжения. Как известно, номинальные могут отличаться от наибольших значений напряжений в несколько раз. Однако повсеместное

использование в практике инженерии МКЭ позволяет получить реальную картину напряженного состояния детали без каких-либо ограничений. В статье представлены результаты исследования методом конечных элементов (МКЭ) напряженного состояния стержней с концентраторами напряжений при растяжении, кручении и плоском поперечном изгибе. Полученные результаты сопоставлены с известными справочными данными. Кроме того для отдельных стержней определены коэффициенты концентрации напряжений, значения которых не приводятся в справочной литературе.

Резкое изменение геометрической формы детали в виде круглых отверстий, галтельных переходов, различных выточек, шлицев и тому подобного приводит к увеличению напряжений в этих областях (концентрации напряжений). В результате деталь более подвержена механическим повреждениям, уменьшается срок её службы. Концентратор напряжений, несомненно, влияет и на прочностные характеристики.

Для учета этого явления в сопротивлении материалов при растяжении и изгибе применяется формула [1]:

$$\sigma_{max} = \alpha_\sigma \sigma_н,$$

где α_σ – теоретический коэффициент концентрации напряжений, $\sigma_н$ – номинальные напряжения, рассчитанные по формулам сопротивления материалов. При расчетах на кручение используется та же зависимость, но с заменой обозначения «σ» на «τ».

Коэффициенты α_σ, α_τ определяются по таблицам из работы под редакцией С.В. Серенсена [2]. Как правило, эти коэффициенты были получены в результате многочисленных экспериментов. С внедрением метода конечных элементов, как главного инструментария решения задач механики твердого деформируемого тела и физики, в том числе задач тепловой динамики, гидродинамики и других явлений, экспериментальные исследования во многом заменили расчеты.

Преимущество МКЭ по сравнению с методиками сопротивления материалов заключается в том, что МКЭ позволяет вычислить наибольшие напряжения в местах концентрации напряжений непосредственно, не прибегая к учету α_σ, α_τ. Однако представляет интерес сопоставление значений этих коэффициентов, найденных авторами работы [2] и полученных с помощью МКЭ.

В качестве исследуемых деталей с помощью МКЭ в данной работе взяты стержни с геометрическими особенностями (концентраторами напряжений), причем каждый стержень был рассчитан на простые виды деформации: растяжение, изгиб, кручение. Производится расчет теоретических коэффициентов концентрации напряжений для вала с галтелью и вала с поперечным отверстием под смазку, а также плоского стержня с двухсторонними разрезами методами сопротивления материалов и конечных элементов (рис.1).

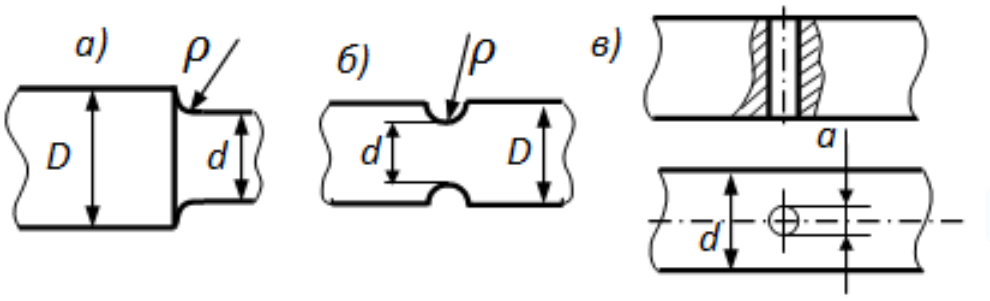


Рис.1. Геометрия концентраторов напряжений в исследуемых деталях

Расчетные схемы стержней были разбиты на параболические тетраэдры, причем их число варьировалось от 8813 (плоский стержень с двухсторонними разрезами, рис.1б) до 32011 элементов (вал с поперечным отверстием, рис.1в). Соответственно число узлов этих конечно элементных расчетных схем составляло 15 482 и 50 073. В частности, для вала с

галтелью (рис.1а) длиной 360 мм, поочередно была задана нагрузка: 30кН – растягивающая, 5кН – поперечная, 0,5 кНм – крутящий момент.

На рис.2 показана картина эквивалентных напряжений в вале с галтельным переходом при прямом поперечном изгибе. Конечно элементная схема вала была разбита на 32011 тетраэдров. В области перехода ярко выражено резкое увеличение напряжений, значение которых и определяет прочность всей детали. Так, номинальные напряжения σ_H на участке вала с меньшим диаметром составляют 80 МПа, а наибольшие напряжения, согласно расчету МКЭ, – 124 МПа, что в 1,55 раз выше.

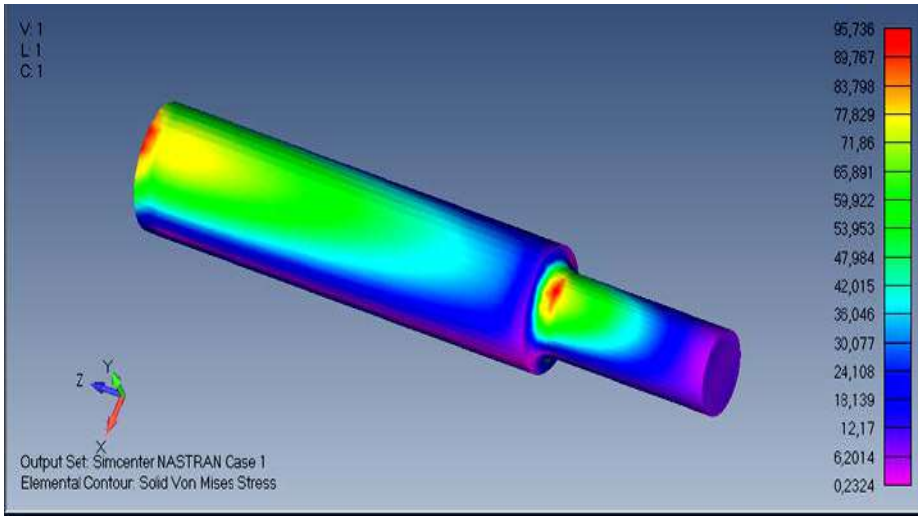


Рис.2 Распределение эквивалентных напряжений в вале с галтелью при изгибе

На рис.3 показано распределение касательных напряжений τ в том же вале при кручении. Сравним их номинальные и наибольшие значения: τ_H равны 40, τ_{max} – 45,2 МПа, в этом случае коэффициент концентрации α_σ составляет всего 1,13. При растяжении вала картина напряжений σ довольно однообразна, причем, α_σ в области галтельного перехода оказался равен 1,32.

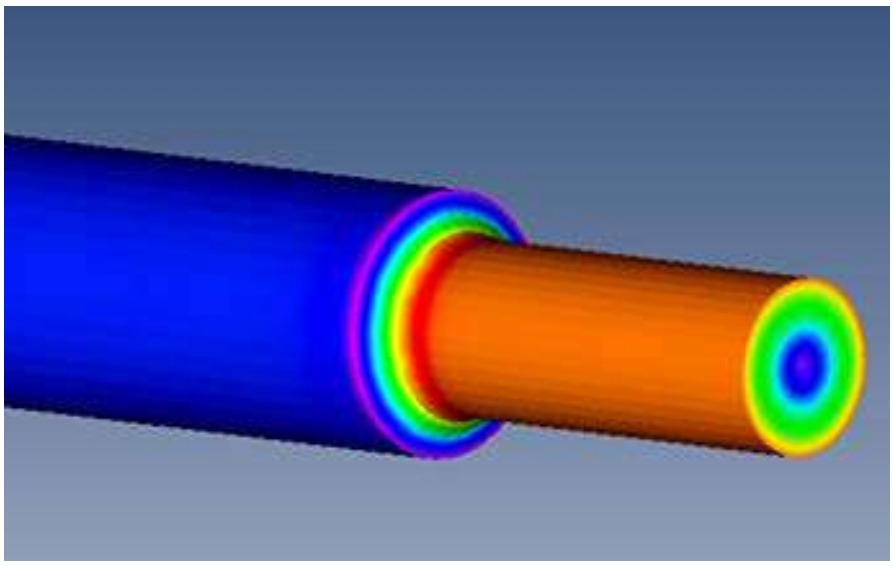


Рис.3 Распределение τ при кручении вала с галтелью: d=0,04 м, D=0,06 м, $\rho = 0{,}01$ м

Также исследовано напряженно-деформированное состояние для вала диаметром D = 0,05 м с поперечным сквозным отверстием диаметром d = 0,02м при изгибе, растяжении, кручении.

Наиболее интересная картина напряжений получилась при растяжении вала силой P равной 66 кН (рис. 4), в этом случае наибольшие нормальные напряжения достигают

100 МПа, коэффициент α_σ – величины 2,06. При кручении этого вала был определен коэффициент концентрации α_τ = 1,2.

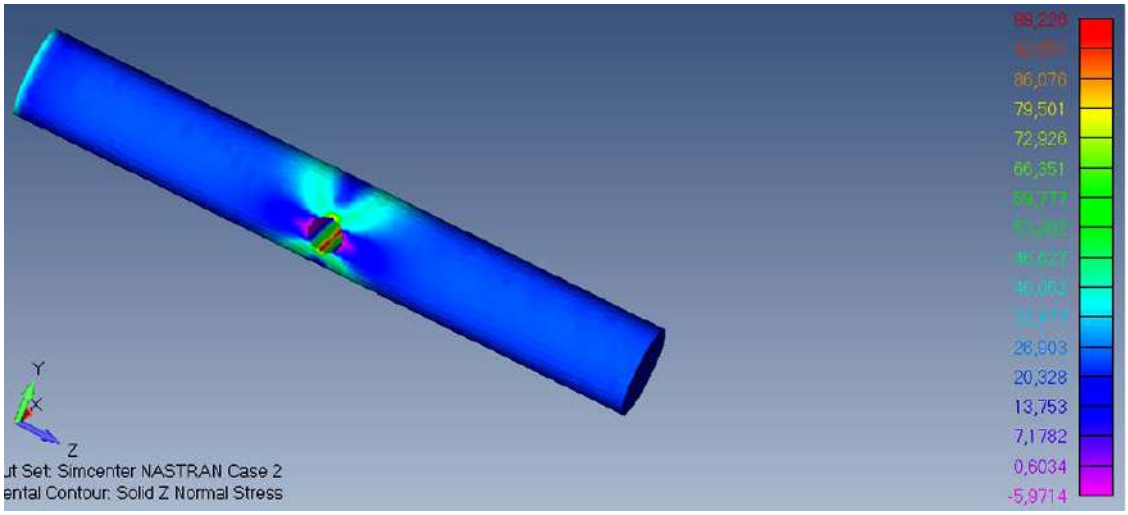


Рис.4 Распределение напряжений в вале с поперечным отверстием

В результате выполненных расчетов с помощью программного комплекса были получены картины нормальных напряжений σ_z, действующих вдоль оси z того или иного стержня. Анализ полученных данных позволил выполнить сопоставление коэффициентов α_σ, α_τ (табл.), найденных по справочным таблицам [2] в зависимости от соотношения параметров расчетных схем $\frac{d}{D}, \frac{\rho}{d}, \frac{a}{d}$ (см.рис.1) и с помощью МКЭ. Расхождение анализируемых значений составило 1,8...18,8 %.

Кроме того выполнен расчет пластины, ослабленной двумя симметричными вырезами, глубиной 0,01 м при изгибе, растяжении и кручении. Коэффициент α_τ при кручении оказался равным 1,14.

Таблица 1

Сопоставление значений коэффициентов α_σ,α_τ

Деталь	Вид нагружения	Справочные данные[2]	МКЭ	Расхождение, %
Вал с галтелью	изгиб	1,38	1,55	11,5
	кручение	1,1	1,12	1,8
	растяжение	1,5	1,398	6,8
Стержень с двухсторонними надрезами	изгиб	1,45	1,2	18,8
	кручение	-	1,14	-
	растяжение	1,5	1,398	6,8
Вал с поперечным отверстием	изгиб	1,8	1,74	3,4
	кручение	-	1,2	-
	растяжение	2,25	2,06	9,2

По результатам работы, описанной в данной статье, построено несколько расчетных конечно элементных схем стержней с геометрическими особенностями. Выполнен расчет на прямой поперечный изгиб, кручение и растяжение трех стержней, нагруженных на свободном правом конце и жестко закрепленных справа с помощью программного комплекса, основанного на МКЭ. Полученные данные сопоставлены со справочными. Найдены числовые значения коэффициентов α_τ при кручении для пластины с вырезами (1,14) и для вала с отверстием (1,2), что имеет большое практическое значение для прочностных расчетов.

Литература:

1. Сакало, В.И. Сопротивление материалов: учеб. пособие/В.И. Сакало.– Брянск: БГТУ, 2009. – 528с.
2. Серенсен, С. В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие:/ С.В.Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович; под ред. С. В. Серенсена.–3-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1975. - 488 с.
3. Мишенков, Г. В. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов, учебное пособие / Г. В. Мишенков, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков; под редакцией В. П. Чиркова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 472 с.
4. . Евтух, Е.С. Решение контактной задачи для колеса и рельса МКЭ при расположении колеса над кромкой рельсового стыка и на удалении от неё / Е.С. Евтух, Г.А. Неклюдова // III Международный научный семинар «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы». Москва, 2015. С. 51-53.
5. Evtukh Elena Accumulation of contact fatigue damages in car wheels when railing over rail joints / Elena Evtukh, Galina Neklyudova // XVII Scientific conference on railways. Serbia**:** Mechanical Engineering Faculty of the University of Niš, 2016. P. 161-165.
6. Евтух, Е.С. Исследование накопления контактно-усталостных повреждений в колесах вагонов при наездах на рельсовые стыки / Е.С. Евтух, Г.А. Неклюдова // Материалы Всероссийской научной конф. с международным участием «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред». Москва, 2015. С. 525-529.

Application of FEM for the analysis of stress concentration coefficients in rods when calculating the fatigue strength

Neklyudova G.A.[1,a] Evtukh E.S.[1,b]

[1] Bryansk State Technical University, 7, 50 Let Oktyabrya Blvd, Bryansk, Russia
[a] galinanekludova@yandex.ru, [b] karmanova.helena@yandex.ru

Keywords: analysis, comparison, finite element method, stress state, theoretical concentration coefficients, rod.

The article examines theoretical stress concentration coefficients for rods of complex shapes. We show that to determine the greatest stresses in hazardous areas is a necessary step in calculating parts for static or fatigue strength. Calculation of parts using methods of resistance of materials makes it possible to calculate only nominal stress. Nominal values are known to differ several times from the highest stress values. However, the widespread use of FEM in engineering practice allows you to get a real picture of the stress state of the part without any restrictions. We present the results of the study of the stress state of rods with stress concentrators during tension, torsion and plane transverse bending by the finite element method (FEM). The article compares the results obtained with available reference data. In addition, we determine stress concentration coefficients for individual rods, the values of which are not given in reference literature.

УДК 623.438

Особенности построения расчетной схемы для моделирования динамики пневмогидравлических амортизаторов

Титова А.В.[1,a], Карпов А.И.[2,b]

[1]Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, ул. Татьяны Барамзиной 34, Россия
[a]titovaspace@ya.ru, [b]karpov@udman.ru

Ключевые слова: численное моделирование; вычислительная гидрогазодинамика; уравнения Навье—Стокса; алгоритм SIMPLE; пневмогидравлические амортизаторы

Представлены результаты методического исследования, направленного на построение расчетной схемы для моделирования динамики пневмогидравлических амортизаторов транспортных средств с помощью метода контрольного объема и подвижных сеток. Рассмотрены методики построения расчетной схемы для сопряженной задачи о взаимодействии подвижного элемента (поршня амортизатора) с течением рабочей жидкости. Описаны методы реализации движения сетки, отслеживающей движение поршня амортизатора. На примере упрощенной осесимметричной модели пневмогидравлического амортизатора описаны основные этапы подготовки расчетной схемы для анализа нестационарных течений во внутренней полости устройства. Разработан вычислительный код для моделирования течений рабочей жидкости в органах пневмогидравлического амортизатора, основанный на методе контрольного объема на движущейся несмещенной сетке. Получено численное решение задачи о начале и развитии движения поршня в осесимметричной постановке.

Введение. Повышение требований к плавности хода транспортных средств высокой проходимости привело к необходимости увеличения энергоемкости системы подрессоривания (СП). Одним из способов улучшения плавности хода и снижения перегрева органов СП является установка пневмогидравлических амортизаторов (ПГА), которые позволяют снизить поглощаемую мощность на всех режимах движения транспортных средств при условии сохранения необходимой плавности хода.

Вместе с преимуществами ПГА обладают и рядом недостатков, главной из которых является сложность прогнозирования упругой характеристики, делающая процесс проектирования и производства весьма трудоёмким и наукоёмким. При подборе ПГА для СП транспортных средств высокой проходимости, на сегодняшний день, используют упругую характеристику, полученную в результате стендовых испытаний, где подразумевается только воздействие статической нагрузки [1-2]. При динамических нагрузках, характерных для реальной картины дорожной обстановки, поведение упругой характеристики остается непредсказуемым, так как движение рабочей жидкости здесь является существенно нестационарным, из-за чего использование приближенных аналитических моделей гидродинамического нагружения рабочего органа ПГА – поршня для рационального выбора конструкторских решений становится некорректным.

Наиболее передовыми подходами к моделированию процессов в пневмогидравлических системах являются подходы, основанные на решении уравнений Навье — Стокса численными методами или, как принято их называть в западной литературе, — CFD (Computational Fluid Dynamics)-методами. При численном моделировании течения рабочей жидкости в ПГА методом контрольного объема в современных программных пакетах вычислительной гидрогазодинамики (CFD) подвижностью поршня часто пренебрегают для уменьшения вычислительных затрат [3]. Однако, чтобы в полной мере

проанализировать нелинейное нестационарное нагружение рабочего органа ПГА, необходимо рассматривать сопряженную задачу его движения при взаимодействии с потоком среды во внутренней полости устройства.

Полноценное моделирование работы ПГА требует построения расчетных схем с использованием подвижной сетки. Наиболее приспособленным для работы с подобными сложными расчетными схемами является алгоритм расчета поля течения SIMPLE (и его дальнейшие модификации) [4].

На примере упрощенной осесимметричной модели ПГА описаны основные этапы подготовки расчетной схемы для анализа нестационарных течений во внутренней полости устройства. Разработан вычислительный код для моделирования течений рабочей жидкости.

Теория построения расчетной схемы. Математическая модель ПГА, рабочая область которого представлена на рис.1, представлена в виде обобщенного уравнения сохранения в нестационарной осесимметричной постановке:

$$\rho\frac{\partial\Phi}{\partial t}+\rho u\frac{\partial\Phi}{\partial x}+\rho v\frac{\partial\Phi}{\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\Gamma\frac{\partial\Phi}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}r\Gamma\frac{\partial\Phi}{\partial r}+S\phi$$

где Φ — обобщенная зависимая переменная, u и v — компоненты скорости в направлениях x и r, а ρ, Γ и $S\phi$ представляют плотность, вязкость (или теплопроводность) и источниковый член соответственно.

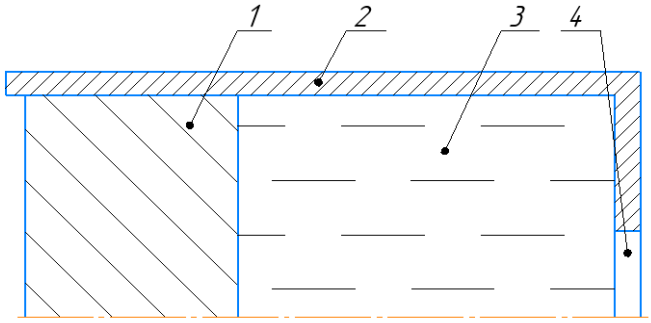


Рис.1. Расчетная область
1-поршень, 2-корпус ПГА, 3-запоршневая область, 4-дроссель

Область для расчета параметров течения состоит из некоторого числа контрольных объемов, в каждом из которых находится одна узловая точка, в которой определяется значение искомой функции Φ. Здесь принято расположение расчетной точки в центре контрольного объема, что позволяет более точно определить интеграл от нелинейного источникового члена, соответствующего градиенту давления. Таким образом, основное обобщенное уравнение сохранения интегрируется по произвольному контрольному объему, как показано на рис.2.

Основная проблема, возникающая при расчете поля течения, заключается в необходимости решения системы уравнений для трех переменных – двух компонент скорости и давления, причем градиент давления входит в уравнения неявным образом. Один из подходов к решению данной задачи состоит в переходе к полунеявному алгоритму SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations), разработанному Патанкаром [5] для связи скорости и давления. Алгоритм SIMPLE включает следующие этапы вычислений:

1. задается приближенное поле давления;
2. вычисляются приближенные поля скоростей;
3. определяется поле поправок давления;
4. определяются значения поправок скорости;
5. определяются новые значения скоростей и давления;
6. полученное в п.5 скорректированное значение давления p представляется как начальное приближенное поле давления и процедура повторяется с п.2 до достижения сходимости итерационного процесса.

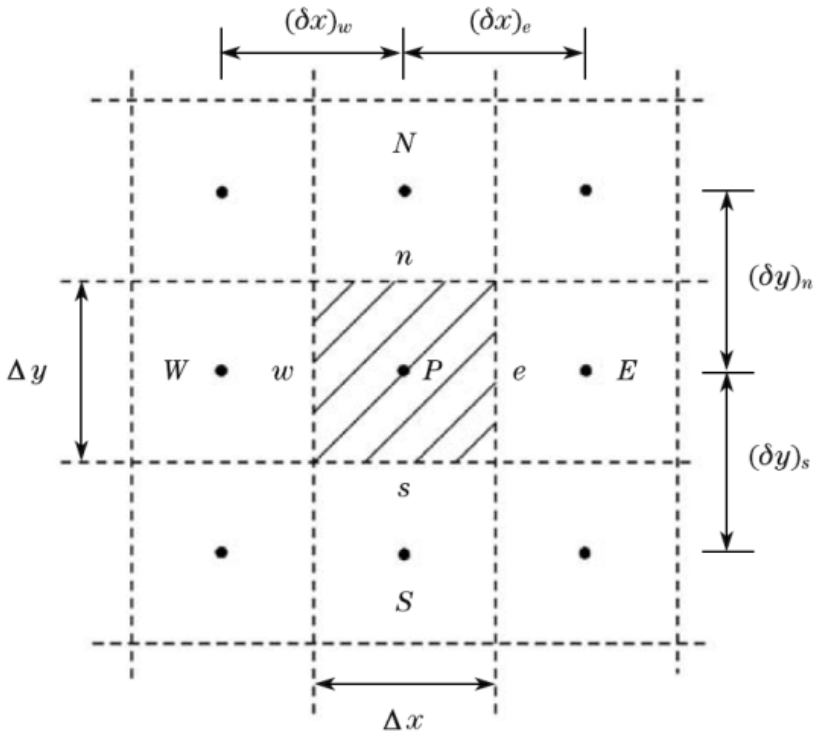


Рис.2. Структура несмещенной сетки

Следующим важным шагом получения дискретного аналога, во многом определяющим успех численной реализации задачи, является аппроксимация конвективных членов на гранях контрольного объема. В зависимости от выбора данной аппроксимации, получаемые разностные схемы имеют различный порядок точности и обладают различными свойствами устойчивости. Наиболее простыми и известными из них являются аппроксимация с помощью разности схемы центральных разностей и противопоточная схема второго порядка – QUICK.

Дискретный аналог представляет собой систему N-линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (N – число контрольных объемов в расчетной области). При выборе конкретного алгоритма ее решения, прежде всего, необходимо определиться в главном: какой метод будет использован – прямой или итерационный. Как показывает практика решения подобных систем дифференциальных уравнений, прямые методы оказываются менее эффективными, причем ссылка на бóльшие затраты вычислительных ресурсов (как процессора, так и памяти) в данном случае не является определяющей для двухмерной задачи. В настоящем примере в качестве итерационного метода решения СЛАУ принят метод Гауса-Зейделя.

Результаты и обсуждение. Расчет режима течения проводился при следующих параметрах: ход поршня ПГА 0,04 м; диаметр поршня 0,075 м; диаметр дроссельного отверстия 0,003 м; начальная скорость поршня 0,01 м/с; рабочая жидкость – минеральное масло МГЕ-10А.

В результате расчета были получены картины нестационарного течения. На рис.3 представлена распределение продольной составляющей скорости на оси ПГА. На рис.4 представлены поля распределения скоростей и давлений по всей расчетной области**.**

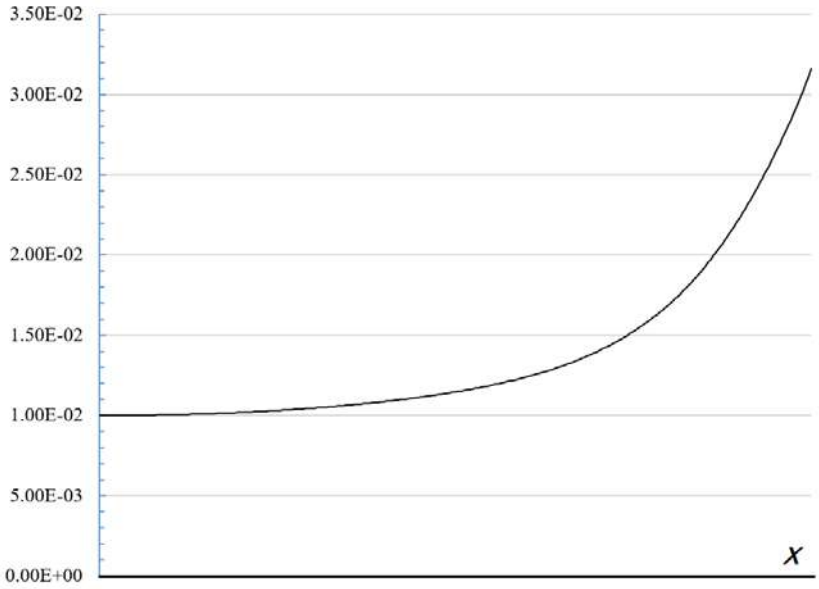
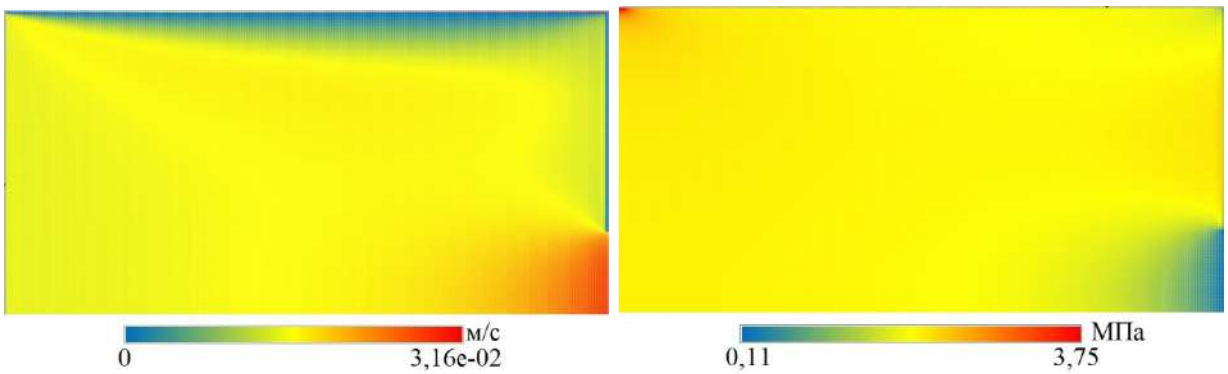


Рис.3. Продольная скорость на оси, м/с



а) *б)*

Рис.4. Результаты расчета течения
а – поля распределение скоростей; б – распределение давления

Видно, что вблизи дроссельного отверстия струйное течение эволюционирует, порождая вихревые структуры в проточной части ПГА. Обнаруженные струйные эффекты и вихревые течения могут возникать и при пространственном течении в проточной части реального устройства, приводя к изменениям распределения давления по рабочей поверхности корпуса, возникновению дисбаланса радиальной составляющей гидродинамических сил и могут быть причиной различия расчетной и экспериментальной демпфирующей характеристики ПГА.

Выводы. Проделанная работа позволяет сделать вывод о том, что разработанный вычислительный код для моделирования течений рабочей жидкости в органах ПГА, основанный на методе контрольного объема на движущейся несмещенной сетке, может быть использован в качестве альтернативы коммерческим пакетам программ вычислительной гидрогазодинамики (CFD) для расчета режимов течения в пневмогидравлических агрегатах СП транспортных средств.

В целом можно сделать вывод, что технология построения расчетной схемы успешно отлажена в осесимметричной постановке. Дальнейшая работа предполагает полноценное моделирование реальной конструкции ПГА в условиях, приближенных к экспериментальному исследованию. Сравнение результатов расчета с экспериментом позволит произвести верификацию расчетной схемы и использовать ее в дальнейшем для оптимизации внутренней геометрии ПГА с целью улучшения и уточнения его упругой характеристики.

Литература:

1. Lee K. Numerical modeling for the hydraulic performance prediction of automotive monotube dampers // Vehicle system dynamics. 1997. № 28. P. 25 –39.

2. Сарач Е. Б., Ципилев А. А. Методы исследования систем подрессоривания транспортных машин. Наука и образование. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012. №5. С. 95-125.

3. Широкова К. А., Целищев В. А., Целищев Д. В., Галлямов Ш. Р. Численное моделирование потоков в струйно-золотниковом гидроусилителе. Вестник УГАТУ. 2008. Т.11, №2 (29). С. 55-59.

4. Козелков А. С., Дерюгин Ю. Н., Лашкин С. В. и др. Реализация метода расчета вязкой несжимаемой жидкости с использованием многосеточного метода на основе алгоритма SIMPLE в пакете программ ЛОГОС // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Матем. моделирование физ. процессов. 2013. Вып. 4., С. 44–56.

5. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости – М.: Энергоатомиздат, 1984, 152 с.

Features of the design scheme for modeling the dynamics of shock absorbers

Titova A.V.[1,a], Karpov A.I.[2,b]

[1]Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Tatiana Baramzina str. 34, Russia
[a]titovaspace@ya.ru, [b]karpov@udman.ru

Keywords: numerical modeling; computational fluid dynamics; Navier—Stokes equations; SIMPLE algorithm; shock absorbers

The results of a methodological study aimed at constructing a computational scheme for modeling the dynamics of shock absorbers of vehicles using the method of control volume and movable grids are presented. The methods of constructing a design scheme for the conjugate problem of the interaction of a movable element (shock absorber piston) with the flow of the working fluid are considered. The methods of implementing the movement of the grid tracking the movement of the shock absorber piston are described in detail. Using the example of a simplified axisymmetric shock absorber model, the main stages of preparing a design scheme for the analysis of non-stationary flows in the internal cavity of the device are described. A computational code has been developed for modeling the flows of the working fluid in the shock absorber organs, based on the control volume method on a moving non-staggered grid. A numerical solution of the problem of the beginning and development of piston motion in the axisymmetric region is obtained.

УДК 621.01

Исследование собственных колебаний плоского манипулятора параллельной структуры

Толстошеев А.К.[1,a]

[1]Брянский государственный технический университет, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября 7, Брянск, Россия
[a]andrei.tolstosheev@yandex.ru

Ключевые слова: манипулятор параллельной структуры, компьютерное моделирование, собственные колебания, собственные частоты и формы

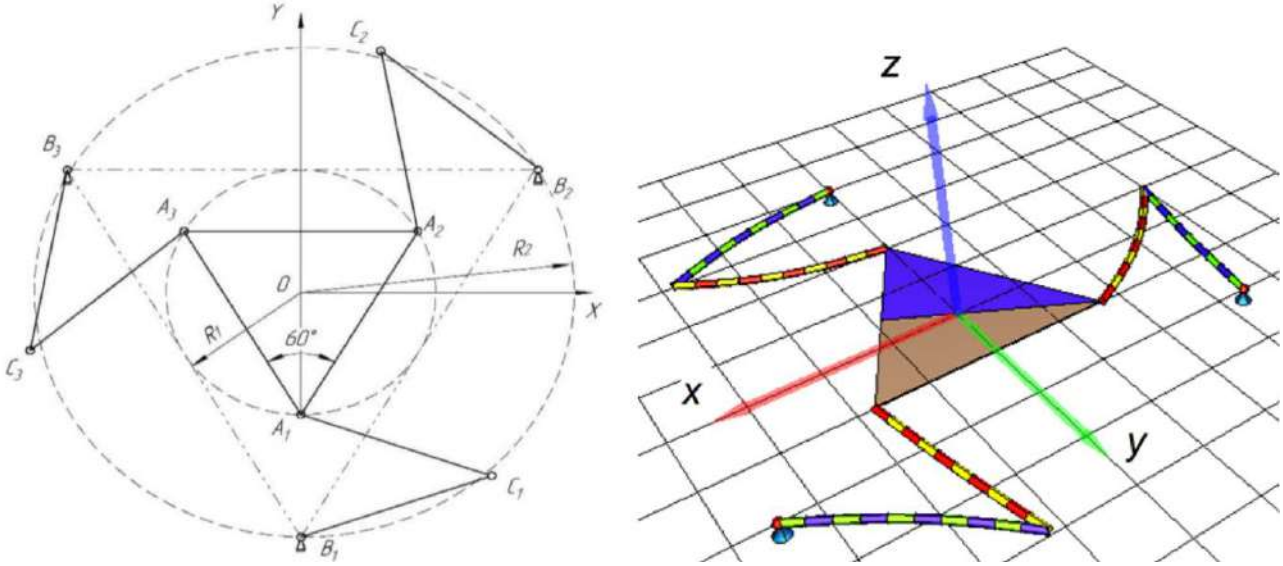
В статье исследованы собственные колебания плоского манипулятора параллельной структуры. Учитывались упругие и инерционные свойства промежуточных звеньев. Расчёты выполнялись численными методами с использованием программного комплекса «Универсальный механизм». Установлено, что замена абсолютно жёстких промежуточных звеньев упругими стержнями привела к появлению собственных частот и соответствующих им собственных форм, на которых выходное звено колеблется в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости движения звеньев манипулятора. Значения собственных частот, на которых выходное звено колеблется в вертикальной плоскости, не зависят от коэффициента жёсткости привода. Они определяются упругими и инерционными свойствами звеньев. Значения собственных частот, на которых выходное звено колеблется в горизонтальной плоскости, зависят от соотношения коэффициентов жёсткости привода и звеньев, а также от инерционных свойств звеньев.

Введение. В последние годы всё большее распространение получают промышленные роботы нового типа с параллельной кинематикой [1]. Манипуляторы этих роботов имеют параллельную структуру и замкнутую кинематическую цепь. Резонансные механические колебания манипуляторов при переходных режимах, приводят к ошибкам позиционирования выходного звена и снижению производительности роботов. Задача устранения таких колебаний связана с анализом собственных колебаний манипулятора при заторможенных приводах. Для изучения собственных колебаний манипуляторов с параллельной структурой используют аналитические методы и упрощённые динамические модели. В [2] предложена методика аналитического расчёта собственных частот колебаний плоского манипулятора, в которой учитываются только инерционные параметры выходного звена (платформы) и упругие свойства приводов, а промежуточные звенья считаются невесомыми и абсолютно жёсткими. В [3] при анализе свободных и вынужденных колебаний пространственных поступательно-направляющих манипуляторов платформа дополнительно описывается как материальная точка. Данная работа посвящена исследованию собственных колебаний плоского манипулятора параллельной структуры с учётом упругих и инерционных свойств промежуточных звеньев численными методами программного комплекса «Универсальный механизм» [4].

Методика. Платформа плоского манипулятора с тремя степенями свободы (рис. 1, а) соединена тремя одинаковыми кинематическими цепями со стойкой, может двигаться в горизонтальной плоскости, имеет массу m и тензор инерции в виде диагональной матрицы T с элементами $t_{11} = t_{22} = t_{33} = I$, где I – центральный момент инерции. При заторможенных приводах координаты неподвижных точек B_1, B_2, B_3 равны соответственно (0; – 2), (1,73; 1,0), (– 1,73; 1,0), точек A_1, A_2, A_3 платформы соответственно (0; – 1), (0,866; 0,5), (– 0,866; 0,5), длины промежуточных звеньев (стержней) $AC = BC = 1{,}5$ м, радиусы окружностей $R_1 = 1$ м и $R_2 = 2$ м. Для учёта упругости приводов в приводные кинематические пары введены одинаковые линейные упругие элементы с коэффициентами жёсткости c.

В компьютерной модели манипулятора с абсолютно жёсткими невесомыми промежуточными звеньями шарниры в точках A_i, B_i, C_i описываются как вращательные кинематические пары, а промежуточные звенья как малоинерционные стержни с пренебрежимо малыми массой и тензором инерции. В компьютерных моделях манипулятора с упругими стержнями каждый такой стержень представляется цепочкой из десяти абсолютно твёрдых тел, образующих между собой четырёхподвижные кинематические соединения, запрещающие относительные линейные перемещения перпендикулярно оси стержня. По каждой обобщённой координате в четырёхподвижном кинематическом соединении введён линейный упруго-диссипативный элемент, для которого коэффициенты крутильной, продольной и изгибной жёсткости определяются по известным формулам [5].

Для определения собственных частот используем *QR*-алгоритм, а собственные формы определяем по виду движения графического образа манипулятора в анимационном окне программы (рис. 1, б).



а) *б)*

Рис. 1. Плоский манипулятор параллельной структуры:
а - кинематическая схема; б - графический образ

Известно, что плоский механизм параллельной структуры с вращательными кинематическими парами содержит в каждом замкнутом контуре 3 избыточные связи. В структурной группе рассматриваемого механизма, включающей платформу и стержни A_1C_1, A_2C_2, A_3C_3, находятся 6 нормальных избыточных связей, действующих в вертикальной плоскости, снижающих надёжность и технологичность манипулятора [6]. Заменив некоторые одноподвижные вращательные кинематические пары (1В) в шарнирах структурной группы на сферические трёхподвижные (3С) и сферические двухподвижные (2С), получим обладающие разными динамическими свойствами кинематические схемы 2 − 6 манипулятора без избыточных связей (табл. 1), для которых далее определяем собственные частоты и формы.

Таблица 1

Вид кинематической пары в шарнире структурной группы манипулятора

Шарнир	Вариант кинематической схемы манипулятора					
	1	2	3	4	5	6
C_1	1В	3С	1В	3С	3С	2С
C_2	1В	3С	1В	1В	3С	2С
C_3	1В	3С	1В	1В	1В	2С
A_1	1В	1В	3С	1В	1В	2С
A_2	1В	1В	3С	3С	1В	2С
A_3	1В	1В	3С	3С	3С	2С

В работе последовательно решаются следующие задачи:

1. Численный расчёт собственных частот и форм колебаний манипулятора с абсолютно жёсткими малоинерционными промежуточными звеньями и сравнение значений собственных частот с известным аналитическим решением.

2. Сравнительный анализ собственных частот и форм колебаний манипулятора с жёсткими и упругими малоинерционными промежуточными звеньями для кинематической схемы с избыточными связями и для 5 вариантов кинематических схем без избыточных связей.

3. Определение зависимости собственных частот и форм колебаний манипулятора с упругими инерционными промежуточными звеньями от коэффициента жёсткости привода.

4. Исследование спектра собственных частот манипулятора и анализ свободных затухающих колебаний платформы при задании начальной скорости.

Результаты и обсуждение. Для оценки погрешности расчёт собственных частот и форм манипулятора в программном комплексе «Универсальный механизм» выполняем по данным, принятым в аналитическом решении [2]: m = 0,5 кг, I = 0,025 кг·м^2, c = 1000 Н·м. Все стержни заданы абсолютно жёсткими и малоинерционными, а кинематические пары − вращательными. Значения собственных частот f_x = 9,21 Гц, f_y = 9,28 Гц, $f_{\varphi z}$ = 55,1 Гц соответствуют аналитическому решению f_1 = 9,14 Гц, f_2 = 9,36 Гц и f_3 = 56,3 Гц. Здесь и далее f_x, f_y, $f_{\varphi z}$ − собственные частоты, которым соответствуют собственные формы x, y, φ_z. На собственной форме x платформа колеблется в горизонтальной плоскости xoy с частотой f_x и максимальной амплитудой вдоль оси x. На собственной форме y платформа колеблется в горизонтальной плоскости с частотой f_y и максимальной амплитудой вдоль оси y. На собственной форме φ_z платформа совершает малые колебания вокруг вертикальной оси z. Максимальная относительная погрешность численного решения

$$\Delta_f = \left(f_3 - f_{\varphi z}\right) \cdot 100\%/f_3 = (56{,}3 - 55{,}1) \cdot 100\%/56{,}3 = 2{,}1\ \%.$$

Далее определяем собственные частоты и формы манипулятора с жёсткими и упругими малоинерционными стержнями для кинематической схемы 1 с избыточными связями и для схем 2 − 6 манипулятора без избыточных связей (см. табл. 1). Для всех вариантов кинематических схем с жёсткими стержнями низшие собственные частоты равны f_x = 9,21 Гц, f_y = 9,28 Гц, $f_{\varphi z}$ = 55,1 Гц. Значения собственных частот для кинематических схем 1 – 6 манипулятора с упругими стальными малоинерционными стержнями звеньями круглого поперечного сечения диаметром D = 0,02 м приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения низших собственных частот для разных кинематических схем, Гц

Собственные формы	Вариант кинематической схемы					
	1	2	3	4	5	6
x	8,23	8,23	8,23	8,20	8,23	8,22
y	8,24	8,24	8,24	8,27	8,24	8,30
φ_z	49,02	49,02	49,02	49,02	49,02	48,97
z	20,12	11,41	9,12	8,242	8,14	4,68
φ_x	113,4	74,26	28,99	23,80	46,42	1,50
φ_y	113,6	74,48	29,02	65,48	76,38	73,56

Учёт упругих свойств промежуточных звеньев привёл к уменьшению на 10% значений собственных частот колебаний платформы в горизонтальной плоскости f_x = 8,23 Гц, f_y = 8,24 Гц, $f_{\varphi z}$ = 49,02 Гц (см. табл. 2, схема 1), которые не зависят от вида кинематической схемы и соответственно от числа избыточных связей в кинематической цепи. Также появились дополнительно 3 собственные частоты с формами, на которых платформа колеблется в вертикальной плоскости. На собственной форме z с частотой f_z выходное звено совершает малые колебания вдоль вертикальной оси z. На собственных формах φ_y и φ_x с частотами $f_{\varphi y}$ и $f_{\varphi x}$ выходное звено поворачивается одновременно вокруг осей y и x. Значения этих частот существенно зависят от вида кинематической схемы. Наибольшими значениями собственных частот обладает схема 1 с вращательными кинематическими парами и избыточными связями.

Для манипулятора с упругими малоинерционными стержнями первые шесть собственных форм не зависят от инерционных и упругих свойств звеньев, колебания платформы на собственных формах в горизонтальной и вертикальной плоскостях независимы, а в каждой из плоскостей поступательное и вращательное движения платформы разделены.

Далее определяем зависимость значений собственных частот колебаний манипулятора от коэффициента жёсткости привода. Принимаем, что стержни выполнены в

виде алюминиевых трубок с наружными и внутренними диаметрами D = 50 мм и d = 30 мм соответственно. Для каждого абсолютно жёсткого элемента стержня длиной l_i = 0,15 м вычисляются и задаются масса m_i = 0,509 кг и ненулевые диагональные элементы тензора инерции T: $t_{11} = I_x = 2{,}04 \cdot 10^{-4}$ кг·м^2, $t_{22} = I_y = 9{,}54 \cdot 10^{-4}$ кг·м^2, $t_{33} = I_z = 9{,}54 \cdot 10^{-4}$ кг·м^2, для выходного звена m = 2 кг и I = 0,01 кг·м^2, коэффициенты жёсткости приводов варьируются от 1 до $1 \cdot 10^{10}$ Н·м.

Установлено, что низшие собственные частоты с собственными формами, соответствующими колебаниям платформы в вертикальной плоскости f_z = 8,57 Гц, $f_{\varphi x}$ = 10,03 Гц, $f_{\varphi y}$ = 10,04 Гц, не зависят от величины коэффициента жёсткости привода. Значения собственных частот для двух собственных форм с колебаниями выходного звена в горизонтальной плоскости приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения низших собственных частот f_x, $f_{\varphi z}$, Гц

Частоты	Собственная форма	*lg c*, Н·м									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_x	x	0,15	0,43	1,36	3,97	7,89	9,36	9,56	9,58	9,58	9,58
$f_{\varphi z}$	φz	0,16	0,50	1,60	4,56	9,10	10,9	11,2	11,2	11,2	11,2

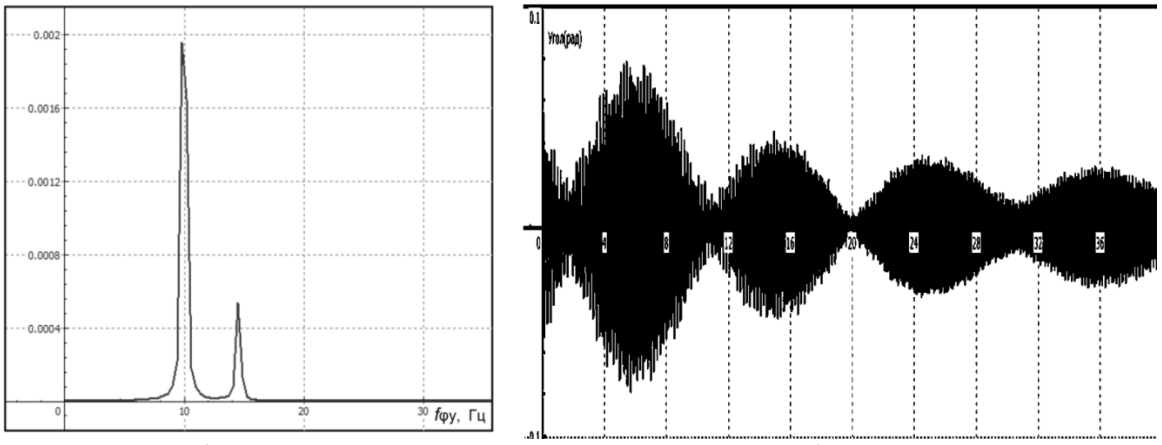
Из анализа результатов следует, что для манипулятора с упругими стержнями значения частот f_x, f_y, $f_{\varphi z}$ зависят от соотношения податливостей привода и стержней, образующих последовательное соединение, и с ростом коэффициента жёсткости привода не увеличиваются до бесконечности, как при абсолютно жёстких звеньях, а асимптотически приближаются к постоянным значениям парциальных частот упругих колебаний стержней. Поэтому введение упругих муфт в привод может существенно снизить собственные частоты колебаний манипулятора в горизонтальной плоскости.

Выполним более подробный анализ спектра собственных частот рассмотренной компьютерной модели при c = 10000 Н·м. Первые девять низших собственных частот: f_x = 3,97 Гц, f_y = 3,98 Гц, $f_{\varphi z}$ = 4,56 Гц, f_z = 8,57 Гц, $f_{\varphi x}$ = 10,03 Гц, $f_{\varphi y}$ = 10,04 Гц, f_{z2} = 13,9 Гц, $f_{\varphi x2}$ = 14,569 Гц, $f_{\varphi y2}$ = 14,572 Гц. Далее следуют три частоты: 52,8 Гц, 53,7 Гц и 53,8 Гц, на собственных формах которых платформа неподвижна, а стержни совершают изгибные колебания в горизонтальной плоскости. На следующих трёх собственных формах с частотами $f_{\varphi z2}$ = 64,8 Гц, f_{x2} = 66,2 Гц, f_{y2} = 66,3 Гц платформа колеблется в горизонтальной плоскости вследствие изгиба стержней и с меньшими амплитудами, чем на частотах $f_{\varphi z}$, f_x, f_y. В конце спектра, начиная с частоты f_{175} = 5997 Гц и заканчивая f_{219} = 7126 Гц, собственные формы определяются продольными колебаниями стержней. Из анализа спектра собственных частот следует, что для манипулятора с упругими стержнями, масса которых сравнима с массой платформы, в нижней части спектра собственных частот присутствуют дополнительно три частоты, на собственных формах которых платформа совершает поступательные и вращательные движения в вертикальной плоскости, вследствие изгиба стержней. Таким образом, на первых девяти собственных формах платформа совершает поступательные и вращательные движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Зададим в шарнире A_1 рассмотренного выше манипулятора начальную относительную угловую скорость $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 2$ рад/с и определим зависимости от времени перемещения центра масс платформы и угловых перемещений платформы, а также спектральную плотность мощности колебаний платформы, задав коэффициент вязкого сопротивления в стержнях равным 1 Н·м·с.

Колебания платформы в горизонтальной плоскости близки к гармоническим, причём амплитуда колебаний центра масс платформы вдоль оси y примерно в 3 раза превышает амплитуду колебаний вдоль оси x. Несмотря на близость собственных частот f_x = 3,97 Гц, f_y = 3,98 Гц биения не наблюдаются, что свидетельствует о независимости колебаний. Колебания платформы в вертикальной плоскости существенно отличаются. На графике спектральной плотности мощности колебаний центра масс платформы вдоль оси z видны два всплеска

(рис. 2, а), соответствующие собственным частотам колебаний f_z = 8,57 Гц, f_{z2} = 13,9 Гц. Колебания вдоль оси z происходят с зависящими от времени амплитудой и фазой, что соответствует сумме двух гармонических колебаний с разными частотами. Колебания платформы вокруг осей *x* и *y* имеют вид биений (рис. 2, б), что свидетельствует о связности колебаний на собственных частотах $f_{\varphi x}$ = 10,03 Гц, $f_{\varphi y}$ = 10,04 Гц. Для этих колебаний спектральная плотность мощности также имеет два всплеска – для φ_x на частотах $f_{\varphi x}$ = 10,03 Гц и $f_{\varphi x2}$ = 14,569 Гц; для φ_y на частотах $f_{\varphi y}$ = 10,04 Гц, $f_{\varphi y2}$ = 14,572 Гц.



а) б)

Рис. 2. Свободные колебания платформы:
а – спектральная плотность мощности вертикальных колебаний центра масс платформы;
б – зависимость угла φ_x поворота платформы вокруг оси x от времени

Выводы. Применение программного комплекса «Универсальный механизм» позволило изучить собственные колебания плоского манипулятора параллельной структуры с учётом упругих и инерционных свойств промежуточных звеньев. Выполнен анализ влияния избыточных связей на собственные частоты и формы колебаний манипулятора с жёсткими и упругими малоинерционными промежуточными звеньями. Определен вид свободных затухающих колебаний платформы. Погрешность в определении собственных частот колебаний плоского манипулятора с жёсткими малоинерционными стержнями и тремя степенями свободы численным методом составляет менее 3%.

Установлено, что замена абсолютно жёстких промежуточных звеньев упругими стержнями привела к появлению собственных частот и соответствующих им собственных форм, на которых выходное звено колеблется в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости движения звеньев манипулятора. Значения собственных частот манипулятора, на собственных формах которых выходное звено колеблется в вертикальной плоскости, не зависят от коэффициента жёсткости привода. Они определяются упругими и инерционными свойствами стержней. Значения собственных частот, на которых выходное звено колеблется в горизонтальной плоскости, зависят от соотношения коэффициентов жёсткости привода и стержней, образующих последовательное соединение. Поэтому введение в привод упругой муфты может существенно снизить собственные частоты колебаний манипулятора в горизонтальной плоскости.

Учёт инерционных свойств упругих стержней, масса которых сравнима с массой платформы, привёл к появлению, в нижней части спектра дополнительно собственных частот, на которых платформа совершает независимые поступательные и вращательные движения в вертикальной и горизонтальной плоскостях, вследствие изгиба стержней.

Литература:

1. Song J., Lu Yang, Wang Y., Lu Yi. Stiffness and elastic deformation of 4-DoF parallel manipulator with three asymmetrical legs for supporting helicopter rotor. // Journal of Robotics, 2020. Vol. 2020. P. 1–11.
2. Хейло С.В., Ширинкин М.А., Глазунов В.А. Определение собственных частот колебаний манипулятора параллельной структуры. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 4(333). С. 120-124.
3. Скворцов С.А., Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. Динамический анализ механизма параллельной структуры, выполняющего поступательные перемещения. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 2(15). С. 70-79.
4. Погорелов Д.Ю., Толстошеев А.К., Ковалёв Р.В. Динамический анализ и синтез механизмов с использованием программы UM. Брянск: изд-во Брянского государственного технического университета, 1997. 46 с.
5. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Москва: Альянс, 2014. 607 с.
6. Толстошеев А. К. Теория строения механизмов. Брянск: изд-во Брянского государственного технического университета, 2001. 139 с.

Investigation of natural oscillations of a plane manipulator of a parallel structure

Tolstosheev A.K.[1,a]

[1]Bryansk State Technical University, 7 boulevard 50 let Oktyabrya, Bryansk, 241035, Russian Federation
[a]andrei.tolstosheev@yandex.ru

Keywords: parallel structure manipulator, computer modeling, natural oscillations, natural frequencies and shapes.

Abstract. In the article, the natural oscillations of a plane manipulator of a parallel structure are investigated. Elastic and inertial properties of intermediate links were taken into account. The calculations were performed by numerical methods using the "Universal Mechanism" software package. It is established that the replacement of absolutely rigid intermediate links with elastic rods has led to the appearance of natural frequencies and their corresponding eigenforms, at which the output link oscillates in a vertical plane perpendicular to the plane of movement of the manipulator links. The values of the natural frequencies at which the output link oscillates in the vertical plane do not depend on the stiffness coefficient of the drive. They are determined by the elastic and inertial properties of the links. The values of the natural frequencies at which the output link oscillates in the horizontal plane depend on the ratio of the stiffness coefficients of the drive and the links, as well as on the inertial properties of the links.

УДК 7.012

Оценка сходимости конечно-элементных приближений в решении задач прочности деталей с U-образными вырезами

Зеньков Е.В.[1,2,a]

[1]Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, Иркутск, Россия;
[2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия
[a]jovanny1@yandex.ru

Ключевые слова: погрешность сходимости, напряженно-деформированное состояние, концентраторы напряжений, модельная задача, метод конечных элементов.

В статье представлена расчетная система тестов, включающая анализ сходимости численного решения модельной задачи и соответствующих вычислительных погрешностей, с целью выявления оптимального варианта КЭ–разбивки по критерию точности для области конструкции, имеющей конструктивные неоднородности в виде вырезов U-образной формы. В качестве модельной задачи рассмотрена задача теории упругости о растяжении бесконечной пластины с эллиптическим вырезом вдоль малой полуоси этого выреза (задача Нейбера). Рассматривались расчетные варианты с равномерной разбивкой КЭ-сетки области конструкции и варианты КЭ–разбивок, размеры интервалов в которых изменялись по закону геометрической прогрессии. Анализ вычислительных экспериментов показал, что относительная погрешность сходимости и относительная погрешность получаемых значений напряжений для рассмотренных вариантов разбивок КЭ-сетки закономерно связаны между собой и их отличие друг от друга не превышает 2%.

Введение. В деталях машин и механизмах транспортных систем, энергетики, нефтехимии, применяются конструктивные решения в различных геометрических оформлениях, вызывающих местный подъем в них уровня напряженного состояния – области детали с концентраторами напряжений. В области указанных концентраторов напряжений, представленных, как правило, в форме отверстий, выступов, пазов и т. п., имеет место объемное напряженно-деформированное состояние (НДС). Указанное НДС, точнее, его уровень и вид определяют ресурс работы конструкции при статическом и циклическом нагружении [1]. Широкое применение технологий инженерного анализа, в частности, численного метода конечных элементов (МКЭ), в решении задач механики деформированного тела с концентраторами напряжений для анализа их прочности возникает необходимость формирования представлений об уровне необходимой и достаточной степени их дискретизации [1 – 3].

Погрешность МКЭ для деталей с концентраторами напряжений может оказаться недопустимо высокой, что требует оценки сходимости результатов их КЭ-моделирования в процессе расчетного анализа, а также оценки погрешности моделирования численного решения. Последнее может быть оценено на основе решения, полученного при решении модельных задач, имеющих аналитически точное решение и качественно близкое к рассматриваемой. Для деталей с концентраторами напряжений, имеющих U-образные вырезы, далее, в качестве наглядности, предлагается рассмотреть анализ сходимости численного решения задача о растяжении бесконечной пластины с эллиптическим вырезом вдоль малой полуоси этого отверстия (задача Нейбера), точное решение которой приведено в [5, 6].

Методика исследования. Интересным представляется решение, описанное в работе

[4]. Как указано в [4], в исследованном диапазоне сочетаний геометрических параметров U-образного выреза в одноосно растягиваемой пластине для уменьшения относительной погрешности определения уровня максимальных напряжений до 5% необходимо применение КЭ разбивок этого выреза, содержащих определённое количество КЭ, равное не менее 15-ти КЭ на четверти дуги окружности, формирующей профиль концентратора в виде выреза.

Степень дискретизации исследуемой детали или конструкции может быть определена на последовательности КЭ–приближений, позволяющих достигнуть сходимость численного решения с относительной погрешностью, не превышающей 5%. Для выбора оптимального варианта КЭ–разбивки области конструкции на конечные элементы и для оценки погрешности численного моделирования НДС исследуемой детали с концентраторами напряжений в виде U-образных вырезов проведен анализ сходимости численного решения расчетной модели бесконечной пластины с эллиптическим отверстием, растягиваемой вдоль малой полуоси этого отверстия, и анализ соответствующих вычислительных погрешностей [5].

Решение задачи Нейбера строилось для двух вариантов разбивок КЭ-сетки бесконечной пластины с эллиптическим вырезом. Рассмотрению подвергались расчетные варианты с равномерной разбивкой КЭ-сетки и варианты разбивок, размеры интервалов в которых изменялись по закону геометрической прогрессии [7]. Для последнего сгущение разбивки осуществлялось на неравные интервалы по мере приближения к центральной зоне эллиптического выреза. При этом уменьшение размера КЭ вблизи вершины эллиптического выреза за счет применения закона прогрессии (при одном и том же общем количестве КЭ) в общем случае может сопровождаться уменьшением точности моделирования НДС. Связано это с тем, что погрешность приближений может нарастать за счёт укрупнения размеров КЭ вдали от вершины выреза. Поведение погрешности в рассматриваемом случае было также оценено в вычислительных экспериментах.

Пластина с эллиптическим вырезом, для которой строилось решение, имела соотношение полуосей *a/b=1/3*. Погрешность численного решения оценивалось по значению коэффициента концентрации интенсивности напряжений K_σ, определяемого из выражения

$$K = \sigma_m \big/ \sigma_n \qquad (1)$$

где σ_n – нормальные напряжения в направлении оси *y*, возникающие на удалении от эллиптического выреза; σ_m – нормальные напряжения в вершине эллиптического выреза на оси *Ox*. В соответствии с [5, 6] значение коэффициента *K* для выбранного соотношения полуосей эллиптического выреза равно 7.

Приближенное КЭ–решение задачи строилось с применяем объемных КЭ – изопараметрического гексаэдра первого порядка аппроксимации. Моделировалась четверть пластины в виду ее симметрии относительно центральных осей с заданием соответствующих условий кинематического закрепления. При расчетном исследовании материал пластины принимался однородным, изотропным. Численно решались трехмерные уравнения теории упругости, реализованные в комплексе Femap [8 –10]. Геометрическая модель пластины построена таким образом, что её высота и ширина более чем в 10 раз больше длины полуоси *b*, а толщина пластины принималась равной единице. Граничные условия кинематического закрепления пластины представлены на рис. 1. Во избежание сингулярности в матрице жесткости расчетной модели один из её узлов закреплен в осевом направлении.

В вычислительных экспериментах было создано шесть КЭ-моделей пластины с эллиптическим вырезом для случая регулярной разбивки, когда сгущение КЭ-сетки по мере приближения к эллиптическому вырезу носит равномерный характер (рис. 2, *а – е*).

Представленные на рис. 2 дискретные КЭ-модели содержат разное количество КЭ на четверти дуги эллиптического выреза в порядке возрастания: 5, 8, 11, 16, 18 и 21. Модели были построены таким образом, что форма конечных элементов, примыкающих к вершине

эллиптического выреза, была правильной. Это обстоятельство позволило исключить из расчетов возникновение искажения результатов, связанных с неправильной формой КЭ.

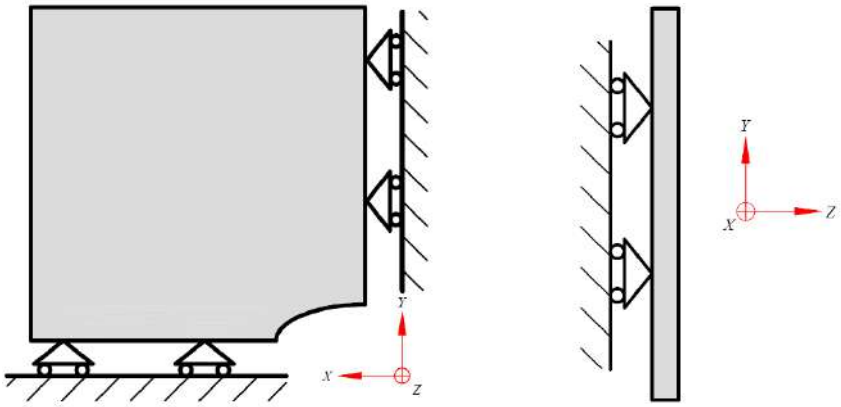
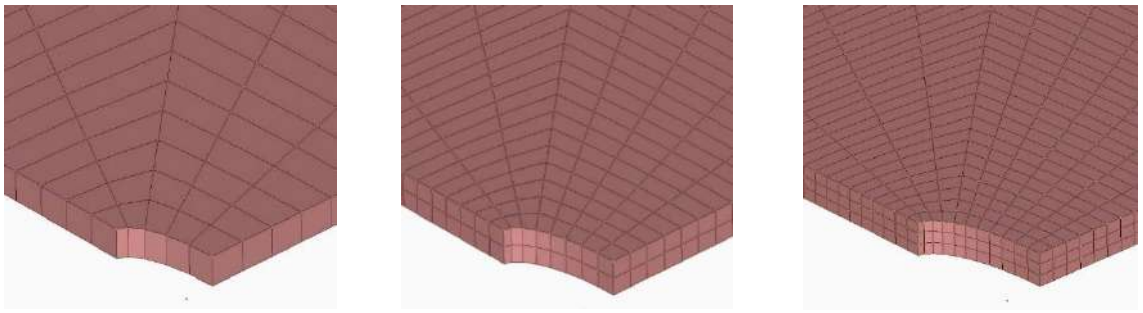
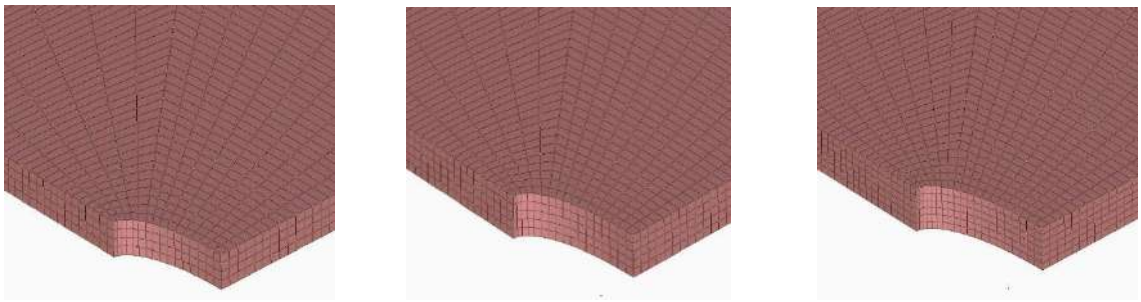


Рис. 1. Граничные условия кинематического закрепления пластины



а) *б)* *в)*



г) *д)* *е)*

Рис. 2. Варианты разбиения пластины с эллиптическим вырезом на КЭ для случая равномерного разбиения
а – 5 элементов, б – 8 элементов, в – 11 элементов, г – 16 элементов, д – 18 элементов, е – 21 элемент

Дискретные КЭ-модели для случая разбивки пластины на КЭ, сгущающейся по закону прогрессии, приведены на рис. 3. При построении КЭ-сетки в направлении по нормали к линии контура эллиптического выреза принималось, что знаменатель прогрессии q = 2, а число КЭ в разбивке в количестве 20.

В настоящей работе относительная погрешность сходимости получаемых значений напряжений $\varepsilon_{сход}$ оценивалась с помощью выражения

$$\varepsilon_{сход} = \frac{\left|\sigma_i^{n+1} - \sigma_i^{n}\right|}{\sigma_i^{n+1}}, \qquad (2)$$

а также относительная погрешность получаемых значений напряжений ε

$$\varepsilon = \frac{\left|\sigma_i^n - \sigma_i\right|}{\sigma_i^n}, \qquad (3)$$

В выражениях (2) и (3) n – номер разбивки в последовательности сгущающихся разбивок, σ_i – значение расчетной интенсивности напряжений в исследуемой зоне конструкции.

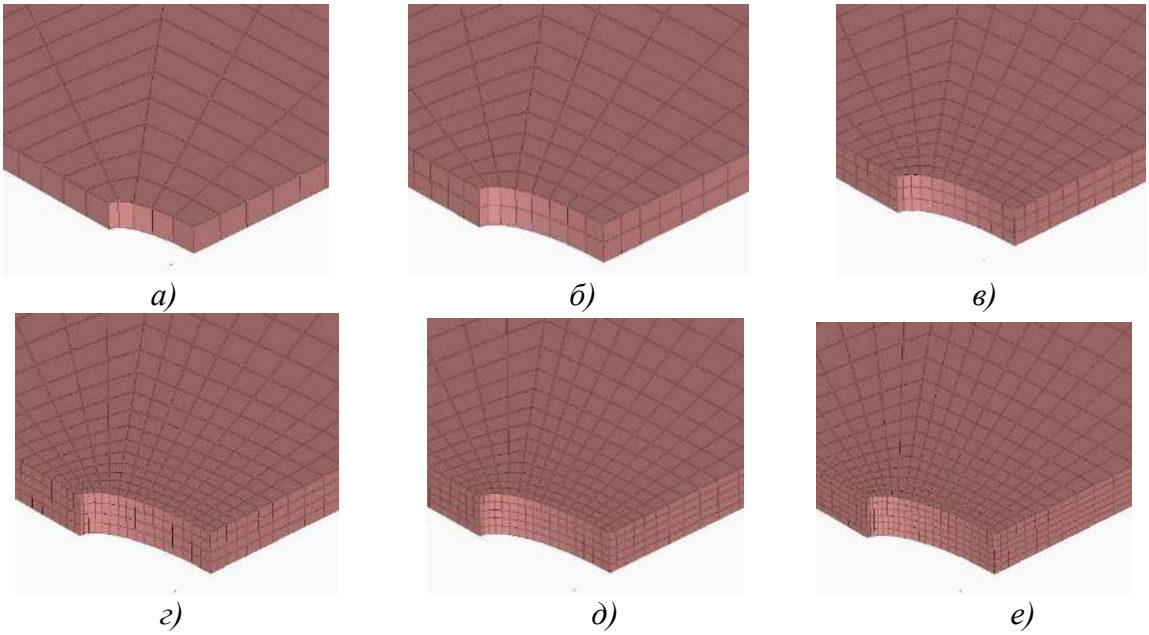


Рис. 3. Варианты разбиения пластины с эллиптическим вырезом на КЭ для случая разбивок, сгущающихся по закону прогрессии
а – 5 элементов; б – 8 элементов; в – 11 элементов; г – 16 элементов;
д – 18 элементов; е – 21 элемент

Результаты вычислительных экспериментов. Результаты сходимостей $\varepsilon_{сход}$ численного решения рассматриваемой задачи для двух случаев разбивок представлены на рис. 4.

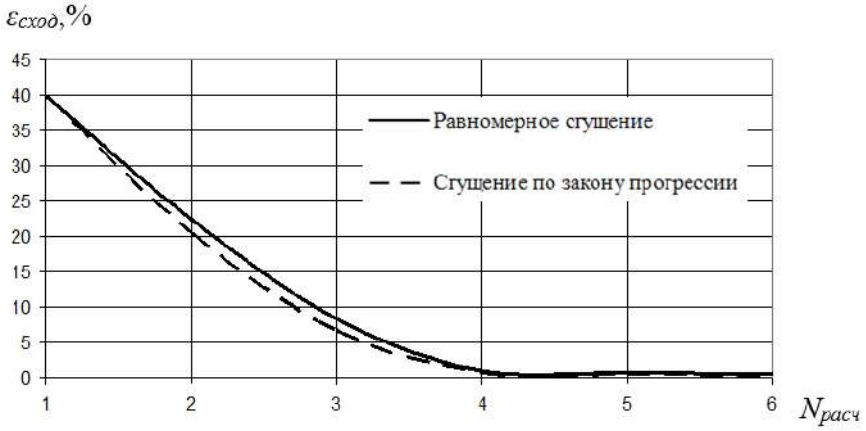


Рис. 4. Относительная погрешность сходимости КЭ приближений в задаче Нейбера для двух вариантов разбивок

Из рис. 4 видно, что сходимость численного решения с относительной погрешностью, не превышающей 5%, достигается для четвертого расчетного варианта, когда количество КЭ на дуге эллиптического выреза равно 16. В вычислительном эксперименте установлено, что указанная сходимость характерна для обоих рассмотренных случаев разбивок модели на КЭ.

На рис. 5 представлены результаты расчетного моделирования значений коэффициента концентрации напряжений K в пластине с эллиптическим вырезом для одного

из вариантов разбивки.

Результаты вычисленных погрешностей получаемых значений напряжений ε в сравнении с эталонным решением [5] для двух вариантов разбивок представлены на рис. 6.

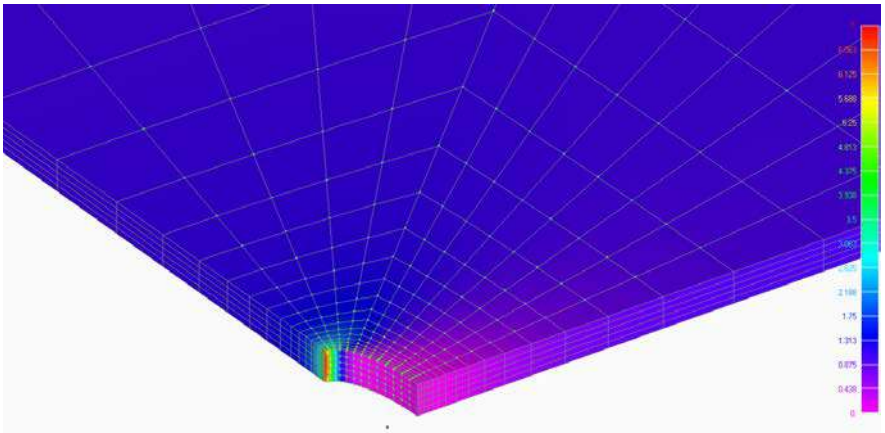


Рис. 5. Распределение величины концентрации напряжений в пластине

Рис. 6. Погрешность численного решения задачи Нейбера для двух вариантов разбивок

Анализ полученных результатов показал, что относительная погрешность сходимости (рис. 4), вычисляемая по формуле (2) и погрешность получаемых приближений (рис. 6), определяемая по значению точного решения с помощью формулы (3), закономерно связаны между собой. Установлено, что использование разбивок, содержащих на четверти контура выреза 16 КЭ, позволяет уменьшить погрешность получаемых приближений до 2%.

Выводы. Выполненные вычислительные эксперименты показали, что способ дискретизации, основанный на локальном сгущении КЭ-разбивок по закону геометрической прогрессии, позволяет строить дискретные модели деформирования, вычислительно эффективные по критерию точности. Указанное обстоятельство следует учитывать при разработке расчетных моделей деталей и элементов конструкций, имеющих концентраторы напряжений в виде U-образных вырезов.

Представленная система тестов и вычислительные эксперименты, основанные на анализе сходимости численного решения эталонной задачи и соответствующих вычислительных погрешностей, позволяют убедиться в приемлемости и необходимости принятых конечно-элементных приближений в задачах моделирования напряженно-деформированного состояния области конструкций с концентраторами напряжений с различными по форме вырезами.

Литература:

1. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. М.: Машиностроение. 1985. 224 с.

2. Пыхалов А.А., Пашков В.П., Зыонг В.Л. Исследование точности численного решения методом конечных элементов анализа напряженно-деформированного состояния образцов из материалов с неоднородной структурой на основе данных компьютерного томографа и натурного эксперимента // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. № 4 (123). С. 47-56.

3. Зеньков Е.В., Цвик Л.Б., Пыхалов А.А. Дискретное моделирование напряженно-деформированного состояния плоскоцилиндрических образцов с концентраторами напряжений в виде канавок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 7 (54). С. 6-11.

4. Иванютенко В.И., Крицук А.А., Рафаилов А.Г., Резниченко В.И., Русецкий В.С., Яценко М.И. О критерии разрушения металлических образцов с концентраторами на основе теории средних напряжений // Прикладная механика. 1990. № 2. С. 113 – 117.

5. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1966. 636 с.

6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. 582 с.

7.Зеньков Е.В. Повышение достоверности расчетов деталей машин с концентраторами напряжений при двухосном растяжении: Автореф. дисс. … канд. техн. наук. Иркутск: ИРНИТУ, 2015. 20 с.

8. Цвик Л.Б., Зеньков Е.В. Физические основы теории упругости и метода конечных элементов. Иркутск: ИрГУПС, 2022. 116 с.

9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 542 с.

10. Шимкович Д.Г. Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов М.: ДМК Пресс, 2008. 704 с.

Convergence estimate for finite element approximations in solving problems of strength of parts with U-shaped cutouts

Zenkov E.V. [1,2,a]

[1]Irkutsk State Transport University, 15 Chernishevskogo st., Irkutsk, 6664074, Russian Federation;
[2]Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova st., Irkutsk, 6664074, Russian Federation
[a]jovanny1@yandex.ru

Keywords: convergence error, stress-strain state, stress concentrators, model problem, finite element method.

The article presents a computational test system, including the analysis of the convergence of the numerical solution of the model problem and the corresponding computational errors, in order to identify the optimal FE breakdown option according to the accuracy criterion for a structure area that has structural inhomogeneities in the form of U-shaped cutouts. As a model problem, the problem of the theory of elasticity of stretching an infinite plate with an elliptical cut along the minor semiaxis of this cut (the Neuber problem) is considered. Calculation variants with a uniform breakdown of the FE-grid of the construction area and variants of FE-layouts, the sizes of intervals in which changed according to the law of geometric progression, were considered. The analysis of computational experiments showed that the relative error of convergence and the relative error of the obtained stress values for the considered variants of FE grid layouts are naturally related to each other and their difference from each other does not exceed 2%.

УДК 539.3:536.2

Исследование температурных полей при действии сосредоточенного и распределенного стационарного потока на границу полубесконечной среды

Веремейчик А.И.[1,a]

[1]Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, Брест, 224017, Беларусь
[a]vai_mrtm@bstu.by

Ключевые слова: температурное поле, равномерно-распределенный тепловой поток, радиус пятна нагрева, нормально-круговой источник, интенсивность.

По результатам решения краевой задачи нестационарной теплопроводности исследовано температурное поле в полупространстве при действии стационарного теплового потока в форме пятна с равномерной интенсивностью и интенсивностью, распределенной по нормальному закону, а также нагрева полупространства распределенным стационарным потоком. Моделирование температуры на основе разработанных алгоритмов решения температурных задач проводится с использованием созданной компьютерной программы, позволяющей произвести и представить результаты расчетов в графическом и текстовом формате. Получены зависимости температурного поля от времени и координат. С использованием полученных результатов могут быть установлены режимы термообработки деталей и инструмента, позволяющие повысить физико-механические характеристики поверхностного слоя без изменения свойств сердцевины.

Введение. В основе поверхностной закалки металлов лежит способность источника нагрева создавать на небольшом участке поверхности высокие плотности теплового потока, достаточные для нагрева, плавления или испарения металла. Основной физической характеристикой термообработки является температурное поле, значение которого дает возможность оценить температуру в разных точках зоны термического воздействия в разные моменты времени, скорость нагрева и охлаждения, а в конечном итоге структурное состояние и фазовый состав поверхностного слоя материала.

В научно-технической литературе известны решения тепловых задач, посвященных определению пространственно-временных распределений температуры, создаваемых стационарными источниками тепла. В зависимости от требуемых условий источники тепла могут быть распределенными по всей нагружаемой поверхности тела либо сосредоточенными на ее ограниченном участке. В последнем случае речь может идти о форме пятна нагрева и о законе распределения теплового воздействия по этому пятну. В классической теории теплопроводности получены аналитические решения многих наиболее важных для практики задач [1-7].

При закалке металлоизделий высокоэнергетическим источником тепла важную роль играет время нагружения, т. к. в возможном диапазоне интенсивностей воздействия и требований к достижению температур, не превышающих заметно температур плавления или кипения материала, с одной стороны, но достаточных для прохождения фазовых превращений и требуемой трансформации структуры материала, с другой, глубина проникновения тепла внутрь тела и соответственно возникающая зона теплового воздействия измеряется долями миллиметра. Поэтому фактическая толщина детали большой роли не играет и может рассматриваться как бесконечная. Аналогичный геометрический порядок зона теплового воздействия имеет и в направлении вдоль поверхности, поэтому для

решения задач наиболее удобным методом является использование функций Грина (метод мгновенно-приложенного точечного источника) [1–3] при соответствующем интегрировании воздействия по площади пятна нагрева. Кроме того, вблизи поверхности нагреваемого тела частицы струи приобретают скорость, направленную вдоль поверхности, что нарушает исходные предпосылки рассматриваемого классического процесса теплопередачи от струи к телу.

Постановка задачи. Для описания поля температур используется линейное уравнение теплопроводности с граничным условием второго рода [4]. В зависимости от конкретной задачи рассматриваются в одномерной или пространственной постановке для теплового потока в форме пятна с равномерной интенсивностью $q(r)=q_0$ либо распределенной по нормальному закону $q(r) = q_0 \exp(-kr^2)$. Интенсивность потока во времени принимается постоянной.

В определенных случаях, в частности, на начальных фазах нагрева, когда можно принять, что радиус пятна нагрева $r_f \approx (\alpha t)^{1/2}$, в точках, близких к оси потока, можно использовать одномерные решения, описывающие распределение температуры в зависимости от времени t и глубины z расположения точки под нагружаемой тепловым потоком поверхностью. В этом случае для температуры $T(z,t)$ имеет место зависимость [1]:

$$T(z,t) = 2q_0 \frac{\sqrt{at}}{\lambda} ierfc\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right), \quad (1)$$

где $ierfc(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} exp(-x^2) - x \cdot erfc(x)$ – интеграл от функции интеграла вероятности $erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-\xi^2) d\xi$, T – температура, t – время, z – координата вдоль оси воздействия, λ – теплопроводность материала, a – коэффициент температуропроводности, $a=\lambda/c\rho$, q_0 – плотность теплового потока. Для вычисления интеграла вероятности используется его представление в виде ряда. Эффективная толщина зоны теплового влияния составляет $\frac{z}{2\sqrt{at}} \approx 1{,}6$.

Для пространственного случая, когда глубина проникновения теплоты в тело не превосходит радиуса пятна нагрева, при $q=const$ для $T(r,z,t)$ имеют место зависимости:

$$T(0,z,t) = 2\frac{q_0\sqrt{at}}{\lambda}\left\{ierfc(\frac{z}{2\sqrt{at}}) - ierfc\left[\frac{\sqrt{z^2+r_f^2}}{2\sqrt{at}}\right]\right\}, \quad (2)$$

$$T(0,0,t) = 2\frac{q_0}{\lambda}\sqrt{at}\left\{1{,}1284 - ierfc(\frac{r_f}{2\sqrt{at}})\right\}, \quad (3)$$

при $q(r) = q_0 \exp(-kr^2)$:

$$T(0,0,0,t) = \frac{P_0}{2\lambda\sqrt{4\pi a t_0}} \frac{2}{\pi} arctg\sqrt{\frac{t}{t_0}} \quad (4)$$

где $t_0 = \frac{1}{4ak}$ – постоянная времени. Предельная температура в центре пятна нагрева составит $T(0,0,\infty) = \frac{q_0 r_f}{\lambda}$.

Для источника с гауссовым распределением интенсивности теплового потока $q(r)=q_0\exp\left(-kr^2\right)$ в случае, когда не наступает расплавление материала, температура в центральной точке не превысит значения

$$T(0,0,\infty)=\frac{P_0}{2\lambda}\sqrt{\frac{k}{\pi}}=\frac{q_0}{2\lambda}\sqrt{\frac{\pi}{k}}, \tag{5}$$

где $P_0=q_0\frac{\pi}{k}$ – эффективная мощность источника тепла, k – коэффициент сосредоточенности потока, характеризующий концентрацию энергии в пятне нагрева, определяется по формуле:

$$k=\frac{1}{\left(r_f\right)^2}. \tag{6}$$

Исходя из приведенных формул найдены уровни критических интенсивностей потоков $q_0^{пл}$ или время τ достижения на поверхности материала температуры плавления $T^{пл}$:
при *q=const*:

$$q_0^{пл}=0,885T^{пл}\frac{\lambda}{\sqrt{a\tau}}\ ; \tag{7}$$

$$\tau=0,79\frac{(\lambda T^{пл})^2}{q_0^2 a}; \tag{8}$$

при $q(r)=q_0\exp\left(-kr^2\right)$:

$$q_0^{пл}=1,128\lambda T^{пл}\sqrt{k}\ . \tag{9}$$

Уравнение для расчета температуры в точке тела от действия перемещающегося с постоянной скоростью *V* нормально-кругового источника теплоты в подвижной системе координат имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} T\left(x,y,z,t\right)&=\left[2P_0\exp\left(-\frac{Vx}{a}\right)\left(c\gamma\left(4\pi a\right)^{3/2}\right)\right]\times\\ \times\int_0^t&\frac{1}{\sqrt{\xi\left(t_0+\xi\right)}}\exp\left[-\frac{z^2}{4a\xi}-\frac{r^2}{4a\left(t_0+\xi\right)}-\frac{V^2\left(t_0+\xi\right)}{4a}\right]d\xi. \end{aligned} \tag{10}$$

Величина теплового потока плазмотрона вычисляется по формуле:

$$Q=U\cdot I\cdot\eta\ , \tag{11}$$

где *I* – ток дуги, *U* – напряжение дуги, η – коэффициент полезного действия.

При выборе величины радиуса пятна нагрева поверхности r_f можно воспользоваться следующими соображениями. Распределение интенсивности нормально-кругового потока по радиусу *r* сечения струи описывается выражением $q(r)=q_m\exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right)$, где r_0 – некоторый характерный радиус поперечного сечения струи, q_m – максимальная интенсивность потока. Отсюда видно, что при $r=r_0$ интенсивность потока падает в *e* раз и составляет $1/e=0,368$ от своего значения на оси источника нагрева. Если при расчетах температуры принимать во внимание только поток, ограниченный зоной $0<r<r_0$, то значительная часть его энергии окажется неучтенной. Поэтому поток ограничивают некоторой цилиндрической поверхностью радиуса r_f, пренебрегая некоторой энергией отсеченной части струи. Пусть величина исходящего из сопла радиуса *R* равномерного потока струи равна $Q=q_m\cdot\pi R^2$,

нормально-кругового $Q = q_m \int_0^{r_f} \exp\left(-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right) \cdot 2\pi r dr = Q_0 \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{r_f}{R}\right)^2\right)\right)$. Функции $\exp\left(-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$ и $1 - \exp\left(-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$ показаны на рис. 1.

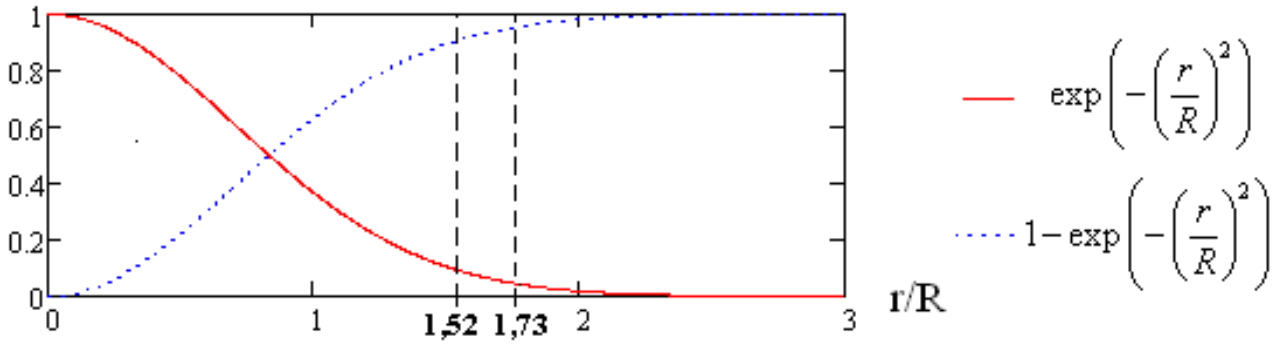


Рис. 1. Графики функций $\exp\left(-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$ *и* $1 - \exp\left(-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$

Задавшись для отсекаемого участка потока уровнями $Q = 0,05Q_0$ или $Q = 0,1Q_0$ (по [1, 2]), определяем соответствующие им граничные радиусы r_f=*1,73R* или r_f=*1,52R* (рисунок 2). Ориентируясь на эти значения и используя данные эксперимента, учитывая наличие не вполне определенной доли энергии струи, расходуемой на световое излучение, а также ее зависимости от расстояния между срезом сопла и обрабатываемой поверхностью, необходимо назначать используемую в расчетах величину r_f. В соответствии с [1, 2] эта величина называется условным радиусом пятна нагрева. Коэффициент сосредоточенности потока вычисляется по формуле (6).

Некоторые результаты и их обсуждение. С использованием приведенных выше зависимостей разработана программа на языке *FORTRAN*, которая позволяет определять температуру в полупространстве (обрабатываемой детали) при действии распределенным стационарным потоком (одномерный случай), неподвижным равномерно распределенным и нормально-круговым сосредоточенным потоком. С целью избежать привязки программы к конкретному пакету используются подготовленные с его помощью независимые исполняемые *exe*-файлы, внутрь которых помещены необходимые для работы указания и комментарии.

а) Нагрев распределенным стационарным потоком. В качестве исходных данных задаются ток дуги *I*, напряжение дуги *U*, коэффициент полезного действия η плазмотрона, время конца расчета t_k, глубина исследуемой зоны проникновения тепла и число разбиений этой глубины на уровни, а также характеристики материала ножа (коэффициент теплопроводности λ, удельная теплоемкость c, плотность ρ, температура плавления $T_{пл}$). Начальная температура принималась равной $T_0 = 0$.

Удельный поток, при котором за заданное время расчета t=t_k температура поверхности достигнет температуры плавления материала $T = T_{пл}$, вычисляется по формуле:

$$q_0 = T_{пл}\lambda\sqrt{\frac{\pi}{4at_k}}. \qquad (12)$$

Распределение температуры по оси *z* во времени определяется по формуле (1).

На рис. 2, 3 приведено распределение температуры при I=20 А, U=12 В, $\eta = 0,72$, r_f= 0,1 см, $T_{пл} = 1550\,^{\circ}\text{C}$, $t_k = 2$ с, характеристиках материала $\rho = 7650\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda = 29\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot{}^{\circ}\text{C}}$, $c = 691\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^{\circ}\text{C}}$, $a = 5,486\cdot10^{-6}\,\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, мощности источника нагрева $P_0 = 173\,\text{Вт}$, удельный тепловой поток, при котором за заданное время t=t_k температура поверхности достигнет $T_{пл}$, $q_0 = 1,202\cdot10^7\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

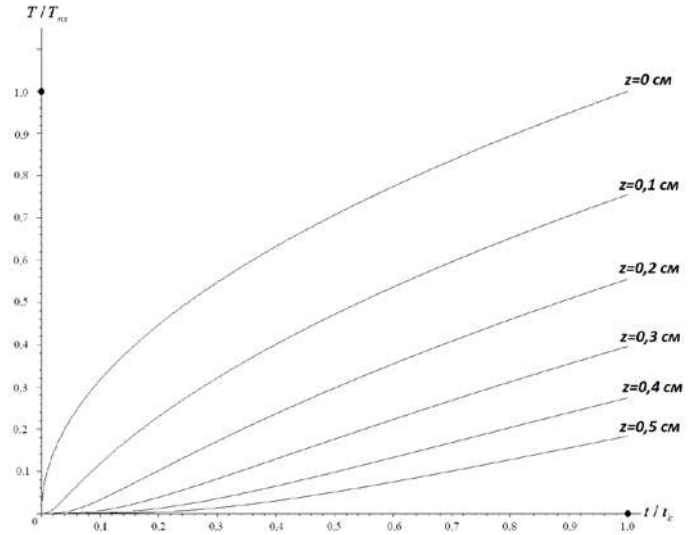


Рис. 2. Зависимость безразмерной температуры $T / T_{пл}$ от безразмерного времени t / t_k на различных глубинах при действии распределенного стационарного потока

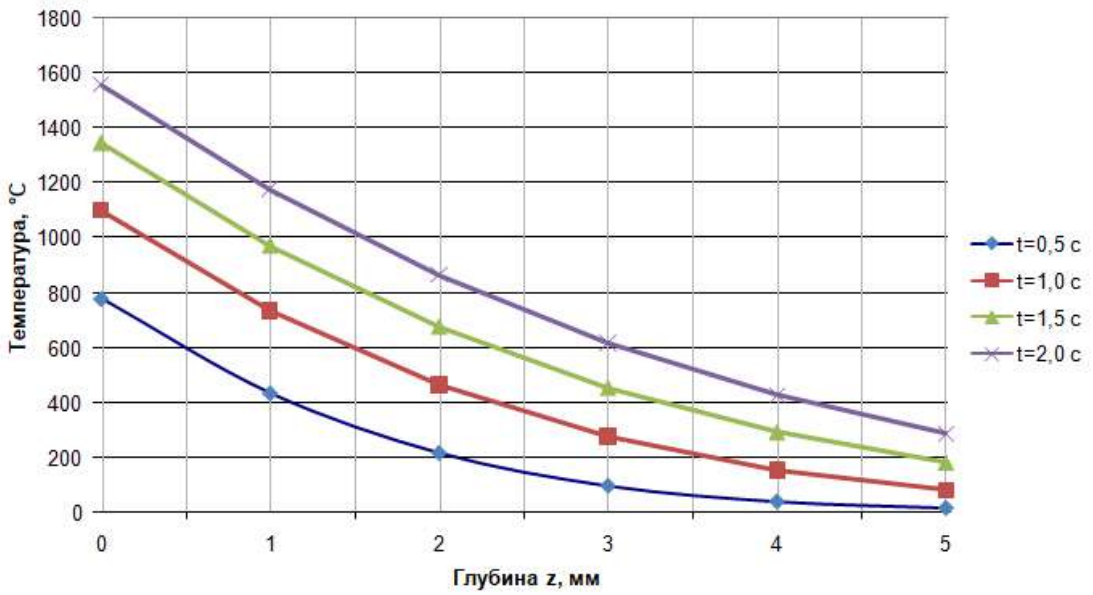


Рис. 3. Зависимость температуры от глубины при действии распределенного стационарного потока

б) Нагрев равномерно распределенным и нормально-круговым сосредоточенным потоком. В этом случае дополнительно задаются радиус пятна нагрева поверхности r_f и размер исследуемой зоны распространения тепла на поверхности (радиус R_k). Температура предельного состояния в центре пятна нагрева при $t \to \infty$ определяется по формуле (5), а критический тепловой поток при $T = T_{пл}$ – по формулам (7) для равномерно распределенного

потока и (9) для нормально-кругового. Расчет температуры на поверхности и в центре пятна нагрева при *q=const* проводится по формуле (3), при $q(r) = q_0 \exp(-kr^2)$ – по формуле (4). Изменение температуры по оси *z* при действии равномерно распределенного источника нагрева исследуется по формуле (2). При действии нормально-кругового сосредоточенного потока по формуле (10) определяются температура по глубине $T(0, z, t_k)$ по оси *z* при $t = t_k$ и температура на поверхности $T(0, z, t_k)$ на момент конца расчета. Температура предельного состояния при указанных выше режимах составила $T_{пред}$ = 1897,9 °С для равномерно распределенного и $T_{пред} = 1682{,}0$ °С для нормально-кругового потока, критический тепловой поток: $q_0^{пл} = 1{,}26 \cdot 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ для равномерного и $q_0^{пл} = 5{,}07 \cdot 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ для распределенного по нормальному закону. Результаты расчетов при указанных выше режимах нагрева и характеристиках материала приведены на рис. 4–8.

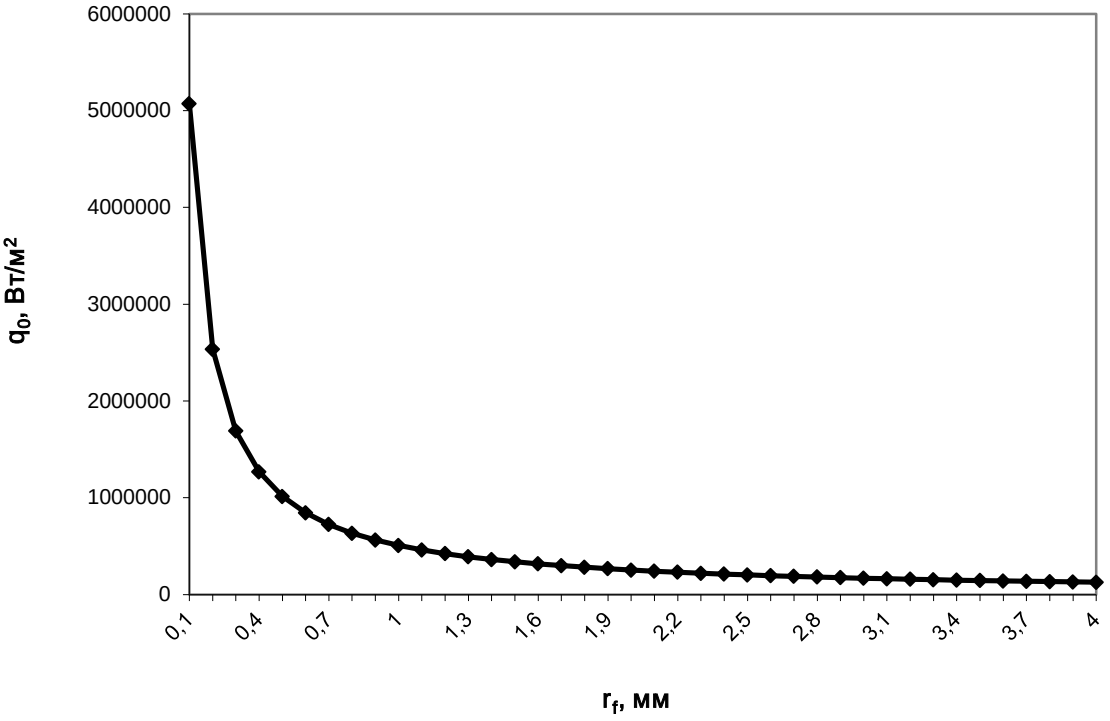


Рис. 4. Зависимость максимального теплового потока от радиуса пятна нагрева при действии нормально-кругового сосредоточенного потока

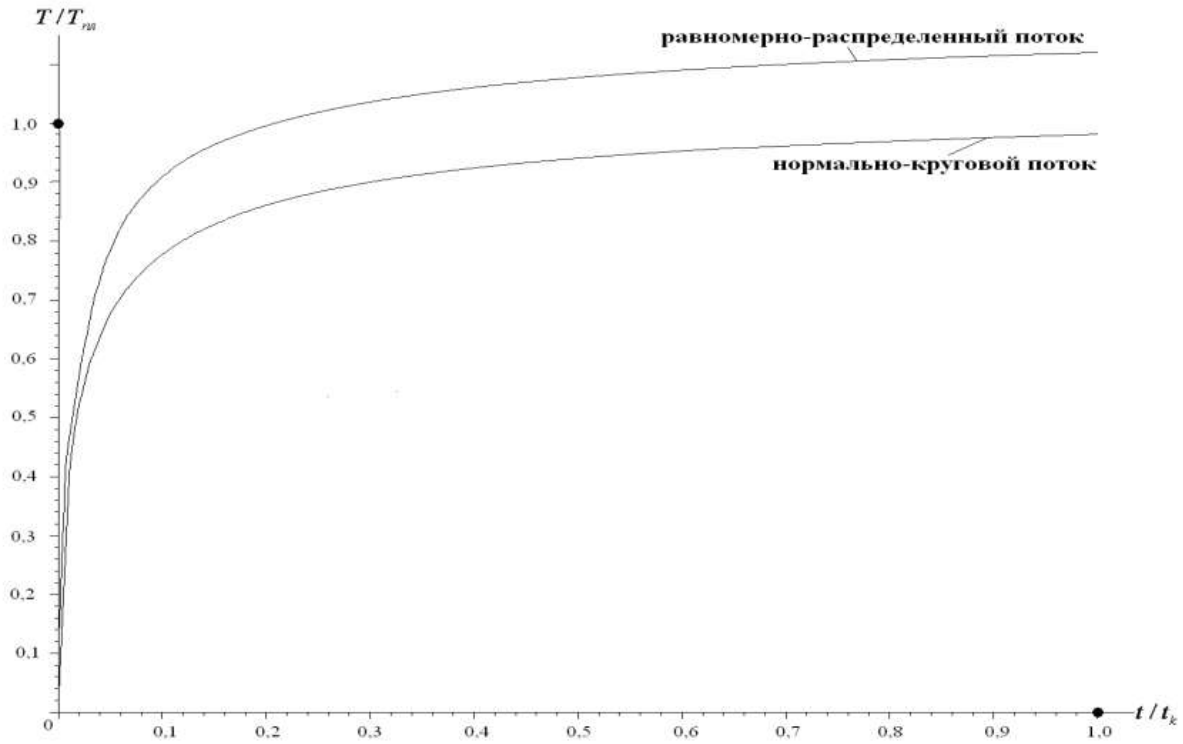


Рис. 5. Зависимости безразмерной температуры $T / T_{пл}$ на поверхности в центре пятна нагрева от безразмерного времени t / t_k при действии равномерно-распределенного по диаметру пятна нагрева (1) и нормально-кругового потока (2)

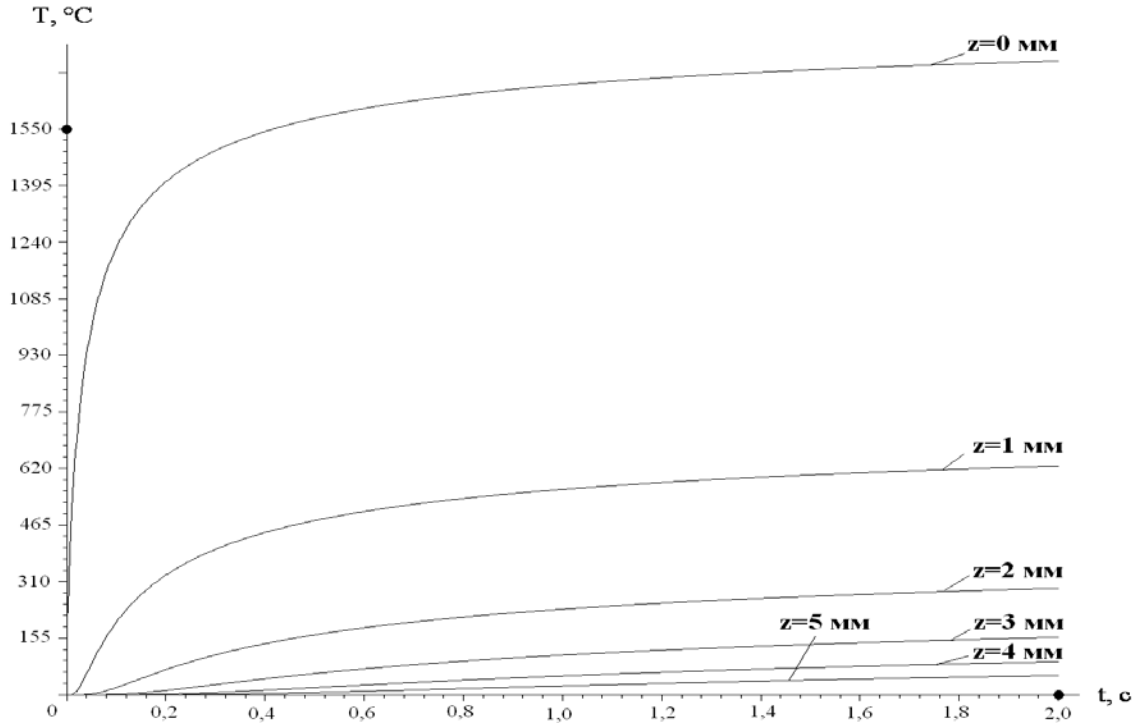


Рис. 6. Зависимости температуры от времени для различных координат z по глубине при действии равномерно-распределенного по диаметру пятна нагрева стационарного потока

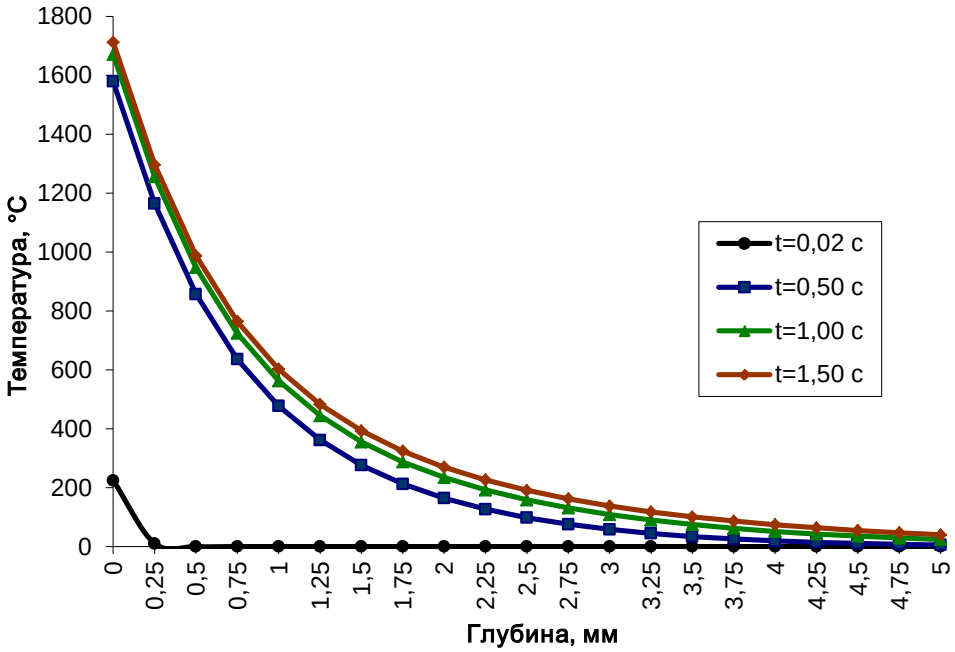
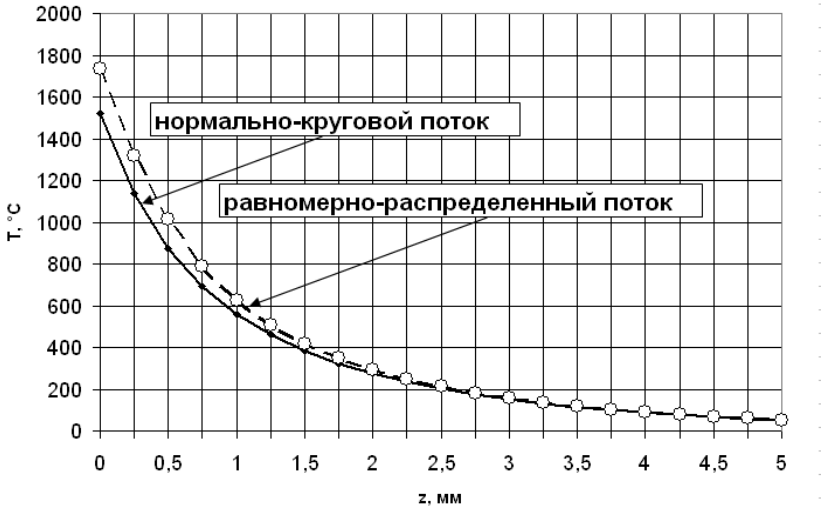
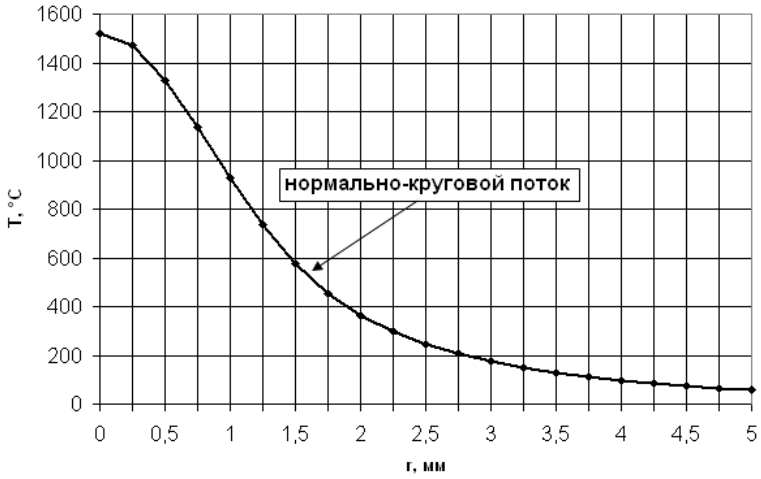


Рис. 7. Распределение температурного поля по глубине для различных моментов времени при нагреве равномерно-распределенным потоком



а)



б)

Рис. 8. Распределение температурного поля по радиусу (а) и по глубине (б) в момент времени $t = 2$ *с*

Результаты исследований показали, что при использовании источников нагрева одинаковой мощности и радиуса пятна температура на поверхности для равномерно-распределенного потока на 14 % выше по сравнению с нормально-круговым.

Выводы. Проведено решение задачи теплопроводности для полупространства при действии на границу полубесконечной среды распределенного стационарного потока, а также неподвижного сосредоточенного потока, равномерно распределенного по пятну нагрева или распределенного по нормальному закону. Решение линейного уравнения теплопроводности с граничным условием второго рода проводится с помощью разработанной компьютерной программы. Получены зависимости температурного поля от времени и координат. Исследовано распределение температуры на поверхности и по глубине. Результаты исследований могут быть использованы при определении оптимальных режимов поверхностного упрочнения металлоизделий.

Литература:

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

2. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: ГНТИ Машиностроительной литературы, 1951. – 296 с.

3. Теория температурных напряжений / Б. Боли, Дж. Уэйнер – М.: Мир, 1964. – 518 с.

4. Теплопроводность твердых тел / Г. Карлслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 488 с.

5. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

6. Веремейчик А. И., Хвисевич В. М., Холодарь Б. Г. Температурное поле в ноже гильотинных ножниц при действии движущегося нормально-кругового источника нагрева // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: сборник статей / Брестский государственный технический университет. – Брест: Издательство БрГТУ, 2022. – С. 188–193.

7. A. V. Attetkov, I. K. Volkov, E. S. Tverskaja. Axisymmetric temperature field of isotropic half-space under local unsteady-state heating by environment, *TVT*, 48:4 (2010), 612–616; *High Temperature*, 48:4 (2010), 583–587.

Investigation of temperature fields under the action of a concentrated and distributed stationary flow on the boundary of a semi-infinite medium

Verameichyk A.I.[1,a]

[1]Brest State Technical University, Moskovskaya st., 267, 224017, Brest, Belarus
[a]vai_mrtm@bstu.by

Keywords: temperature field, uniformly distributed heat flux, heating spot radius, normally circular source, intensity.

Based on the results of solving the boundary value problem of non-stationary heat conduction, the temperature field in a half-space is studied under the action of a stationary heat flux in the form of a spot with a uniform intensity and intensity distributed according to the normal law, as well as heating of the half-space by a distributed stationary flow. Temperature modeling based on the developed algorithms for solving temperature problems is carried out using the created computer program, which makes it possible to produce and present the results of calculations in graphic and text format. Dependences of the temperature field on time and coordinates are obtained. Using the obtained results, it is possible to set the modes of heat treatment of parts and tools, which make it possible to improve the physical and mechanical characteristics of the surface layer without changing the properties of the core.

УДК 534 01; 622 24 053

Возможности упрощения механических колебательных систем с дополнительными рычажными связями

Мамаев Л.А.[1], Кашуба В.Б.[1,a] , Кашуба В.В.[1], Лапуха О.С[1],.

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]kvb1964@yandex.ru

Ключевые слова: механическая колебательная система, кинетическая энергия, потенциальная энергия, степень свободы, массоинерционные и упругие элементы, приведенные параметры

Рассмотрен вопрос использования линейных механических систем с несколькими степенями свободы позволяющими реализовать аналитические подходы с получением определенных соотношений и зависимостей, отражающих специфические свойства систем, учет которых не только повышает точность расчетов на прочность и обеспечение надежности и безопасности эксплуатации машин, но и создает условия для поиска и разработки новых конструкторско- технологических решений. Показано, что возможности упрощения исходных расчетных схем достаточно разнообразны и определяются спецификой решаемых задач динамики и, в этом плане, тесно связаны с методами приведения сил и получения приведенных параметров динамического состояния. Установлено, что приведенная масса является массоинерционным параметром системы, который отражает свойства системы с учётом ее пространственной метрики и особенностей ее конструктивного оформления. Определено, что введение приведенных массоинерционных и упруго- диссипативных параметров $m_{\text{пр}}$ *и* $k_{\text{пр}}$ *дает возможность обоснования формированию представлений о, так называемых, базовых расчетных схемах (или базовых МКС).*

Введение.

Технические объекты различного функционального назначения, в отношении которых решаются задачи оценки, контроля и управления динамическим состоянием, часто отображаются расчетными схемами в виде механических колебательных систем с сосредоточенными параметрами, что даёт возможность получения предварительных данных о системе в целом и особенностях динамических взаимодействий составляющих элементов.

Использование линейных механических систем с несколькими степенями свободы позволяет реализовать аналитические подходы с получением определенных соотношений и зависимостей, отражающих специфические свойства систем, учет которых не только повышает точность расчетов на прочность и обеспечение надежности и безопасности эксплуатации машин, но и создает условия для поиска и разработки новых конструкторско-технологических решений [1,2,3,4].

Возможности упрощения исходных расчетных схем достаточно разнообразны и определяются спецификой решаемых задач динамики и, в этом плане, тесно связаны с методами приведения сил и получения приведенных параметров динамического состояния.

В решении задач динамики машин приведение силовых факторов, моментов инерции и сосредоточенных масс звеньев механизмов связано с упрощением мехпнизмов до систем с

одной степенью свободы (Обычно плоских) к виду начального механизма, условно состоящего из ведущего звена, соединенного со стойкой.

В основе определения приведенных параметров важным обстоятельством является оценка особенностей механической системы (механизмов), специфики распределения масс и расположения действующих сил. Основой для определения приведенных параметров являются условия равенства кинетической и потенциальной энергий в исходной системе и ее приведенной модели. Аналогичным образом могут быть использованы условия эквивалентности производимой механизмом работы и др. Отметим, что обычно в системе предполагается предварительная оценка параметров движения всех звеньев механической системы, а приведенные параметры относятся к некоторому выбранному звену механической системы (механизма) или некоторой точке.

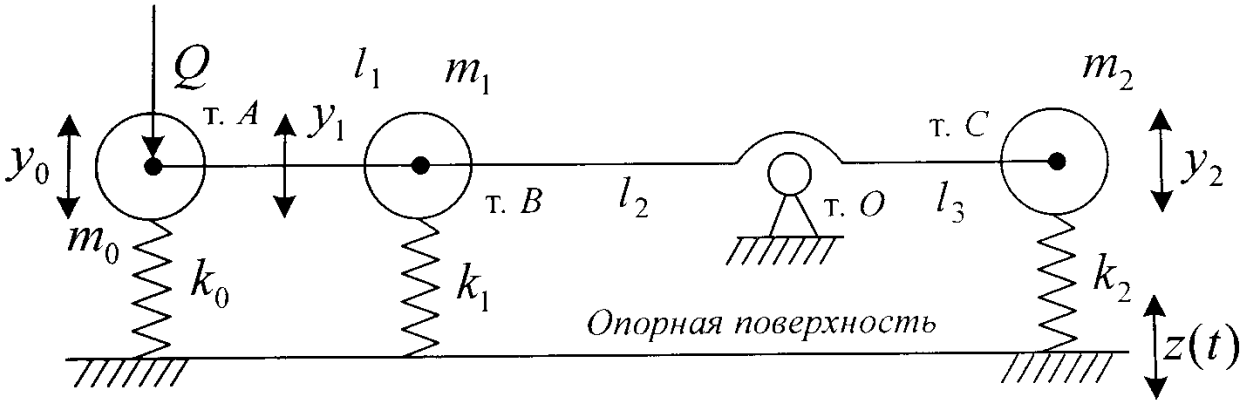


Рис.1 Система с одной степенью свободы

Особенности механической колебательной системы с рычажными связями

В отличие от механизма, который по определению является механической колебательной системой, расчетная схема технического объекта в виде механической колебательной системы (МКС) обладает спецификой. Это заключется в том, что система имеет не только массоинерционные и упруго-диссипативные звенья, но и обладает определенной структурой.

Механическая колебательная система может состоять из нескольких массоинерционных и упругих элементов, однако при определении приведенных параметров предполагается, что динамическое состояние системы зависит от одной координаты.

На рисунке 1 показана расчетная схема МКС с одной степенью свободы, определяемой движением некоторого объекта массой m_0 по вертикальной оси y, то есть используется система координат, связанная с неподвижным базисом.

В механической колебательной системе на рисунке 1 в качестве объекта, состояние которого оценивается, выбрана материальная точка с массой m_0 (т.А); элементы в тт. В и С с массами m_1 и m_2 являются дополнительными и вводятся для реализации определенных функций. Все массоинерционные элементы связаны с опорной поверхностью. Расстояние от тт. А, В, С до центра вращения соответственно обозначены: АО= l_1, ВО=l_2, СО=l_3. Каждый из элементов опирается на линейный упругий элемент (k_0, k_1, k_2)

Введем в рассмотрение координаты движения по тт. В, С: $y_1 = \frac{l_2}{l_1}\varphi_0$, $y_2 = \frac{l_3}{l_1}\varphi_0$, тогда кинетическая энергия системы определится выражением

$$T = \frac{1}{2}m_0 y_0^2 + \frac{1}{2}m_0 y_1^2 + \frac{1}{2}m_2 y_2^2$$

или

$$T = \frac{1}{2} y_0^2 \left[m_0 + \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{l_3}{l_1} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Поскольку y_0 , y_1 и y_2 имеют связи через соотношение длин плеч l_1 , l_2 , l_3 соответственно, потенциальная энергия системы может быть представлена

$$\Pi = \frac{1}{2} k_0 y_0^2 + \frac{1}{2} k_1 \left(\frac{l_2}{l_1} y_0 \right)^2 + \frac{1}{2} k_2 \left(\frac{l_3}{l_1} y_0 \right)^2$$

или

$$\Pi = \frac{1}{2} y_0^2 \left[k_0 + k_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + k_2 \left(\frac{l_3}{l_1} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Система на рисунке 1 может быть заменена эквивалентной системой с одной степенью свободы, содержащей колебания относительно положения статического равновесия. Схема такой системы приведена на рисунке 2.

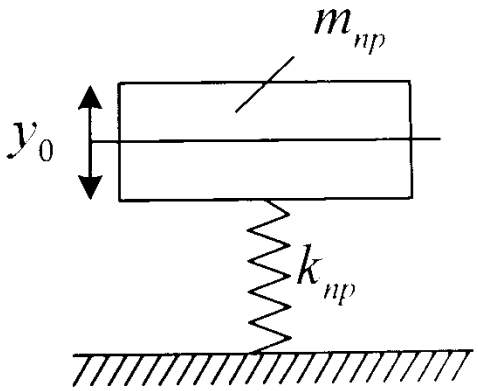


Рис. 2. Расчётная схема системы с одной степенью свободы с приведенными параметрами $k_{\text{пр}}$ b $m_{\text{пр}}$

По существу, используя выражения (1), (2) система одного конструктивного вида может быть заменена эквивалентной системой с приведенными жесткостью и массой; в данном случае

$$K_{\text{пр}} = k_0 + k_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + k_2 \left(\frac{l_3}{l_1} \right)^2; \quad (3)$$

$$m_{\text{пр}} = m_0 + m_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + m_2 \left(\frac{l_3}{l_1} \right)^2 \quad (4)$$

Частота собственных колебаний для систем на рисунке 1 и рисунке 2 будет одной и той же:

$$\omega_{\text{соб}}^2 = \frac{k_{\text{пр}}}{m_{\text{пр}}} = \frac{k_0 + k_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + k_2 \left(\frac{l_3}{l_1} \right)^2}{m_0 + m_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + m_2 \left(\frac{l_3}{l_1} \right)^2} = \frac{k_0 + k_1 i_1^2 + k_2 i_2^2}{m_0 + m_1 i_1^2 + m_2 i_2^2} \quad (5)$$

где принято, что $i_1 = l_2/l_1$, $i_2 = l_3/l_1$

Приведенная масса $m_{\text{пр}}$ является массоинерционным параметром системы, который отражает свойства системы с учётом ее пространственной метрики и особенностей ее конструктивного оформления.

Аналогичным образом формируется и физический смысл приведенной жесткости системы, что связано с выбором эквивалентной системы координат как МКС с одной степенью свободы, совершающей вертикальные колебания в неподвижном базисе.

Если в МКС имеются диссипативные элементы (или демпферы вязкого трения), то в линейных системах аналогичным образом могут быть введены в рассмотрение и приведенные сопротивления вязкого трения.

Заключение

Введение приведенных массоинерционных и упруго- диссипативных параметров

$$m_{\text{пр}} = m_0 + m_1 i_1^2 + m_2 i_2^2 \quad (6)$$

$$k_{\text{пр}} = k_0 + k_1 i_1^2 + k_2 i_2^2 \quad (7)$$

дает возможность обоснования формированию представлений о, так называемых, базовых расчетных схемах (или базовых МКС). По определению, такие базовые структуры имеют минимальное число параметров, которые являются приведенными. Аналогичный подход может быть распространён на МКС с двумя и более степенями свободы.

Математические модели МКС в линейных постановках задач динамики чаще всего рассматривают в виде обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянным коэффициентами, что определяет возможности существенных упрощений моделей при использовании преобразований Лапласа.

Литература

1. Елисеев С.В. – Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (Динамика транспортных и технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи) : монография / С.В. Елисеев. Иркутск: ИрГУПС, 2018. – 692 с.

2. Мамаев Л.А. Взаимодействие вибрационных рабочих органов машин с поверхностью бетонных смесей. Иркутский гос. техн. ун-т, 2005 – 123 с.

3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1991. – 256 с.

4. Фролов К.В. Прикладная теория виброзащитных систем / К.В. Фролов, Ф.А. Фурман. – М.: Машиностроение, 1980. – 276 с.111

Possibilities of simplification of mechanical oscillatory systems with additional lever connections

Mamaev L.A[1], Kashuba V.B.[1,a] , Kashuba V.V[1], Lapuha O.S[1],

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russian Federation
[a]kvb1964@yandex.ru

Key words: dynamic state, vibration protection, mathematical modeling, lever connections, degree of freedom

The question of using linear mechanical systems with several degrees of freedom allowing to implement analytical approaches with obtaining certain ratios and dependencies reflecting the specific properties of systems, the consideration of which not only increases the accuracy of calculations for strength and ensuring the reliability and safety of machine operation, but also creates conditions for the search and development of new design and technological solutions. It is

shown that the possibilities of simplifying the initial calculation schemes are quite diverse and are determined by the specifics of the dynamics problems being solved and, in this regard, are closely related to the methods of bringing forces and obtaining the reduced parameters of the dynamic state. It is established that the reduced mass is a mass-inertia parameter of the system, which reflects the properties of the system, taking into account its spatial metric and the features of its design. It is determined that the introduction of the reduced mass-inertia and elastic-dissipative parameters m_pr and k_pr makes it possible to substantiate the formation of ideas about the so-called basic calculation schemes.

УДК 534 01; 622 24 053

Возможности построения математических моделей для объектов с двумя степенями свободы, в которых режимы динамического гашения реализуются рычажными механизмами

Мамаев Л.А.[1], Кашуба В.Б.[1,a] , Кашуба В.В.[1], Лапуха О.С[1],.

[1]Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]kvb1964@yandex.ru

Ключевые слова: динамическое состояние, вибрацмонная защита, математическое моделирование, рычажные связи, степень свободы

Рассмотрен вопрос возможности построения математических моделей, ориентированных на детализацию представлений об особенностях динамических взаимодействий элементов механических систем, в составе которых используются различного рода механизмы, устройства для преобразования движения и передачи энергии. Показано, что технический объект на подвижном основании рассматривается в виде твердого тела с массоинерционными параметрами M и J, (M – масса объекта, J – момент инерции относительно центра тяжести), а твердое тело опирается на упругие элементы и одновременно на рычаги в виде жестких, невесомых стержней, имеющих точки поворота. Определено, что задача исследования будет заключаться в разработке метода построения математических моделей для систем, имеющих объект, взаимодействующий не только с обычными элементами, но и с рычажными механизмами при различных видах внешних возмущений

Введение.

Способы и средства изменения динамических состояний технических объектов достаточно разнообразны и определяются спецификой решаемых задач, в том числе и учетом особенностей оборудования, приборов и аппаратуры. В последние годы внимание в теоретических и прикладных разработках уделяется поиску и разработке новых технических средств с применением различных механизмов и устройств для преобразования движения [1,2,4,5]. Усложнение конструктивных технических форм систем вибрационной защиты инициировало использование аналитического аппарата и методов теории цепей, теории автоматического управления и мехатроники, что нашло отражение в работах по использованию идей, основанных на динамических и электро-механических аналогиях. В работах, посвящённых развитию методов структурного математического моделирования [3,6] показаны возможности построения математических моделей, ориентированных на детализацию представлений об особенностях динамических взаимодействий элементов

механических систем, в составе которых используются различного рода механизмы, устройства для преобразования движения и передачи энергии.

Возможности построения математических моделей для объектов с двумя степенями свободы, в которых режимы динамического гашения могут обеспечиваться за счёт использования дополнительных связей, реализуемых рычажными механизмами.

Технический объект на подвижном основании рассматривается в виде твердого тела с массоинерционными параметрами M и J, (M – масса объекта, J – момент инерции относительно центра тяжести в т.O). Твердое тело опирается на упругие элементы с жесткостями k_1,k_2 (рисунок 1) в тт. A и B и одновременно на рычаги в виде жестких, невесомых стержней, имеющих точки поворота (тт. A_1,A_2) На концах стержней имеются дополнительные сосредоточенные массы m_1 и m_2. Объект, как твердое тело, опирается на рычаги в тт. A и B, где также закреплены и упругие элементы k_1, k_2. Центр тяжести объекта определяется длинами плеч l_{10}, l_{20} (рисунок 1). Упруго-рычажные опоры, как показано на рисунке 1, имеют длины плеч соответственно как обозначенных l_1, l_2, l_3, l_4.

Предлагается, что система обладает линейными свойствами при отсутсвии сил сопротивления и совершает малые колебания относительно положения устойчивого равновесия в координатах, связанных с неподвижным базисом.

Положение дополнительных масс на концах рычагов (m_1 , m_2) определяется координатами y_1', y_2' и углами поворота φ_1 и φ_2 соответственно. Внешние возмущения в системе на рисунке 1 рассматриваются в виде вибраций основания z(t), а также в виде сосредоточенной силы Q_1, приложенной в т. A, движение которой определяется координатой y_1.

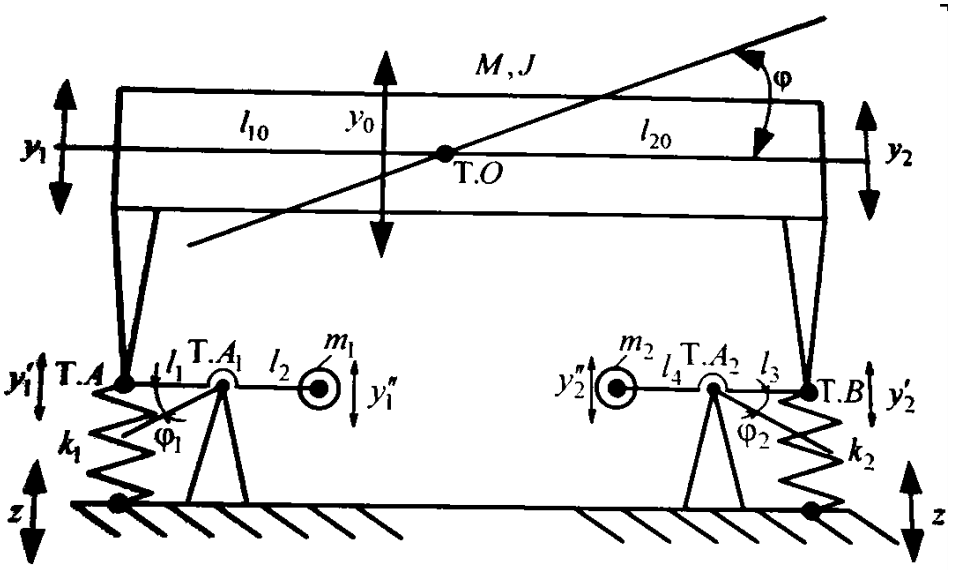


Рис.1. Расчетная схема механической колебательной системы

Полагается, что между координатами системы и её параметрами имеются соотношения:

$$y_0 = ay_1 + by_2, \varphi = c(y_2 - y_1), y_1 = y_0 - l_{10}\varphi, y_2 = y_0 + l_{20}\varphi \quad (1)$$

где $a = \frac{l_{20}}{l_{10}+l_{20}}$, $b = \frac{l_{10}}{l_{10}+l_{20}}$, $c = \frac{l}{l_{10}+l_{20}}$

Введем передаточные отношения рычажных связей в статике, что можно представить как

$$i_1 = \frac{l_2}{l_1},\ i_2 = \frac{l_4}{l_3},\ i_0 = \frac{l_{10}}{l_{20}} \quad (2)$$

При рассмотрении кинематического возмущения со стороны опорной поверхности z(t) объект защиты (и система в целом при $Q_1 = 0$) учавствуют в двух движениях: переносом по закону z(t) и относительном (объекта защиты вокруг т. О, и рычагов с массами m_1, m_2 относительно точек A_1 , A_2 соответственно) . Параметры движения массоинерционных элементов для оценки кинетической энергии определяются в абсолютном движении, которое является суммой переносного и относительного движений. Таким образом получим с учетом (1), что

$$y_1 = \varphi_1 l_1 + z,\ \varphi_1 = \frac{y_1 - z}{l_1},\ y_1^{"} = -\varphi_1 l_2,\ y_1^{"} = -i_1(y_1 - z),$$

$$y_2 = \varphi_2 l_3 + z,\ \varphi_2 = \frac{y_2 - z}{l_3},\ y_2^{"} = -\varphi_2 l_4,\ y_2^{"} = -i_2(y_2 - z) \quad (3)$$

Для нахождения кинетической и потенциальной энергий найдём параметры абсолютного движения

$$y_{m1} = y_1^n + z = -(y_1 - z)i_1 = -y_1 i_1 + z(1 + i_1) \quad (4)$$

$$y_{m2} = y_2^n + z = -(y_2 - z)i_2 = -y_2 i_2 + z(1 + i_2) \quad (5)$$

Заключение

Используя (1) ÷ (2) можно записать необходимые для получения дифференциальных уравнений движения выражения для кинетической и потенциальной энергий (Т и П). Таким образом,задача исследования будет заключаться в разработке метода построения математических моделей для систем, имеющих объект, взаимодействующий не только с обычными элементами, но и с рычажными механизмами при различных видах внешних возмущений.

Литература

1. Елисеев С.В. Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных и технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи) : монография / С.В. Елисеев. Иркутск: ИрГУПС, 2018. – 692 с.

2. Елисеев С.В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С.В. Елисеев, Ю.Н. Резник, А.П. Хоменко, А.А. Засядко. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2008. – 523 с.

3. Елисеев С.В. Динамика механических систем с дополнительными связями / С.В. Елисеев, Л.Н. Волков, В.П. Кухаренко; отв. ред. А.Я. Тишков. – Новосибирск: Наука , 1990. – 214 с.

4. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 379 с.

5. Пановко Г.Я. Динамика вибрационных технологических процессов: монография / Г.Я Пановко. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. – 172 с.

6. Хоменко А.П. Системный анализ и математическое моделирование в мехатронике виброзащитных систем / А.П. Хоменко, С.В. Елисеев, Ю.В. Ермошенко. – Иркутск : ИрГУПС, 2012. – 288 с.

Possibilities of constructing mathematical models for objects with two degrees of freedom, in which dynamic damping modes are implemented by lever mechanisms

Mamaev L.A[1], Kashuba V.B.[1,a] , Kashuba V.V[1], Lapuha O.S[1],

[1]Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russian Federation
[a]kvb1964@yandex.ru

Key words: dynamic state, vibration protection, mathematical modeling, lever connections, degree of freedom

The question of the possibility of constructing mathematical models focused on detailing the ideas about the features of dynamic interactions of elements of mechanical systems, which use various kinds of mechanisms, devices for converting motion and energy transfer, is considered. It is shown that a technical object on a movable base is considered as a solid body with mass–inertia parameters M and J, (M is the mass of the object, J is the moment of inertia relative to the center of gravity), and the solid body is supported by elastic elements and at the same time by levers in the form of rigid, weightless rods having turning points. It is determined that the research task will be to develop a method for constructing mathematical models for systems having an object interacting not only with ordinary elements, but also with lever mechanisms under various types of external disturbances.

ЮБИЛЕИ, ДАТЫ, СОБЫТИЯ

ЮБИЛЕИ, ДАТЫ, СОБЫТИЯ

Редакционный совет научно-периодического издания «Механики XXIвеку» решил ввести в журнал новый раздел под названием «Юбилеи, даты, события», в котором предполагается публиковать материалы, посвящённые юбилеям известных учёных Братского университета и других вузов страны, внесших значительный вклад в научные разработки по тематике журнала, а также активно публиковавшихся в нём как авторы и как руководители молодых исследователей.

Предполагается в данном разделе публиковать материалы, посвящённые знаковым событиям в жизни кафедр и научных коллективов факультета, связанных с организацией научно-технической конференции «Механики XXIвеку», её успешным функционированием и научными достижениями сотрудников и студентов.

Кроме того, будут публиковаться аннотации монографий и учебных пособий авторов БрГУ по тематике конференции, вышедших за предшествующий год в университетском и других издательствах.

КУЛАКОВУ ЮРИЮ НИКОЛАЕВИЧУ - 95 лет.

Кулаков Юрий Николаевич – доцент кафедры «Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, машины и оборудование», почётный работник высшего образования Российской Федерации, имеет почетное звание Ветеран Труда, автор множества публикаций, учебных пособий и патентов.

Родился Юрий Николаевич 7 марта 1928 года в поселке Заледеево Кежемского района, Красноярского края. После получения образования в Красноярском сельскохозяйственном институте, остался в его стенах где и начал свою педагогическую деятельность.

В 1977 году Юрий Николаевич приехал в город Братск, где он работал в Братском филиале Иркутского политехнического института.

Со дня образования кафедры «Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, машины и оборудование» Юрий Николаевич продолжал заниматься педагогической работой вплоть до окончания своей трудовой деятельности и вышел на пенсию в возрасте 85 лет.

За все время работы в Братском государственном университете Юрий Николаевич, являлся заместителем декана и партийным организатором Механического факультета.

Желаем Кулакову Юрию Николаевичу крепкого здоровья и благополучия!

РЫКОВУ СЕРГЕЮ ПЕТРОВИЧУ - 75 лет.

Рыков Сергей Петрович – профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» Братского государственного университета, доктор технических наук, почётный работник высшего образования Российской Федерации, автор более 300-т публикаций, включая 14 изданных монографий, 14 учебных пособий (два с грифами УМО и СибРУМЦ) и 22 патентов на изобретения.

Родился Сергей Петрович 7 августа 1948 года в селе Еланцы Ольхонского района Иркутской области в семье служащих. В 1955 году он поступил в среднюю школу посёлка Казачинско-Ленский Иркутской области, а с 1957 года продолжил обучение в средней школе №20 г.Братска, которую окончил в 1966 году. В этом же году Сергей Петрович поступил на Братский общетехнический факультет Иркутского политехнического института (ИПИ), а в 1968 году перевёлся в Казанский авиационный институт (КАИ) на факультет летательных аппаратов. В 1972 году Сергей Петрович с отличием окончил данный институт и был распределён в лабораторию прочности и надёжности научно-исследовательского отдела КАИ на должность младшего научного сотрудника, а с 1974 года - старшего научного сотрудника.

В сентябре 1974 года Сергей Петрович переехал в г. Братск и в 1975 году поступил в аспирантуру ИПИ к профессору Н.Н. Яценко по специальности 05.05.03 «Автомобили и тракторы». В тот период времени Яценко Николай Никанорович возглавлял Братский филиал Иркутского политехнического института и был заведующим кафедрой «Автомобильный транспорт».

После успешного окончания аспирантуры в 1978 году Сергей Петрович приступил к педагогической деятельности на этой кафедре.Одновременно он продвигал свои научные разработки, создавая теоретические основы,конструируя уникальное стендовое оборудование, датчики и устройства для проведения экспериментальных исследований, выступая перед научным сообществом с результатами исследований на международных и всесоюзных научно-технических конференциях.

К 1998 году Сергей Петрович подготовил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук, которую успешно защитил в 2000 году в Научно-исследовательском автомоторном институте (НАМИ, г. Москва), и ему была присвоена учёная степень кандидата технических наук. А в 2001 году присвоено учёное звание доцента.

К 2004 году Сергей Петрович подготовил диссертацию на соискание учёной степени доктора технических наук, которую успешно защитил в 2005 году в Научно-исследовательском автотракторном институте (НАТИ, г. Москва). А в 2006 году ему была присвоена учёная степень доктора технических наук.

В 2007 году Сергей Петрович был избран по конкурсу на должность заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт», которую он возглавлял до 2017 года. Под его руководством кафедра занимала ведущие позиции по показателям учебно-методической и научно-исследовательской деятельности.

С 2018 года Сергей Петрович работает на кафедре «Машиностроение и транспорт» на должности профессора.

За свою 45-летнюю трудовую деятельность в Братском вузе Рыков Сергей Петрович подготовил порядка 300 молодых специалистов: инженеров, бакалавров, магистров; создал уникальную экспериментальную базу, написал 14 монографий и 14 учебных пособий, получил 22 патента на изобретения. Изданы такие фундаментальные работы, как:

-Рыков С.П. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин. Испытательный комплекс, методики проведения экспериментов и обработки результатов: монография/ С.П.Рыков. – Братск: БрГТУ, 2004. – 322 с., ил.

-Рыков С.П. Основы теории неупругого сопротивления в пневматических шинах с приложениями: монография / С.П. Рыков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Изд в автомобильных шинах, элементах подвески и виброзащиты. Теория, эксперимент, приложения: монография: В 2 ч./ С.П. Рыков. – Братск ФГБОУ ВО «БрГУ», 2023. – ч.1 – 254 с., ч.2. – 254 с., ил.

В которых представлены разработанные автором новая теория неупругого сопротивления в технических системах и новый метод оценки коэффициента сопротивления качению автомобильного колеса.

Сергей Петрович проявил свои способности и в гуманитарной сфере. Им были написаны и изданы в трёх сборниках стихи, посвящения и эпиграммы.

Желаем Рыкову Сергею Петровичу дальнейших творческих успехов, здоровья, удачи в его научно-педагогической деятельности на благо кафедры, вуза и России!

МАМАЕВУ ЛЕОНИДУ АЛЕКСЕЕВИЧУ – 70 лет.

Мамаев Леонид Алексеевич – профессор кафедры «Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, машины и оборудование», доктор технических наук, почётный работник высшего образования Российской Федерации, автор более 290 публикаций, включая 3 изданных монографии, 34 учебных пособия и 54 патента на изобретения.

Леонид Алексеевич родился 24 июля 1953 года, село Тангуй Братского района, Иркутской области. Учился и закончил в 1970 г. Среднюю школу № 1 села Илир, Братского района, Иркутской области. В том же году поступил в Иркутский политехнический институт (ИПИ) на специальность «Строительно-дорожные машины», в 1973 году как лучший студент был направлен для завершения учебы в Ленинградский инженерно-строительный институт (ЛИСИ), который закончил в 1975 году.

После годичной стажировки поступил в очную аспирантуру, которую успешно окончил защитой кандидатской диссертации в 1979 году и был направлен для работы в Иркутский политехнический институт. В ИПИ занимал должности: ассистента, старшего преподавателя, доцента, заместителя декана Автодорожного факультета.

В 1985 году был избран на должность доцента Братского индустриального института (БрИИ). С 1986 года заведующий кафедрой СДМ БрИИ.

С 2003 года проректор по учебной работе ГОУ ВПО «Братского государственного университета».

В 1995 году получил второе высшее образование по специальности «Экономист, организатор производства». В октябре 2006 года успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Методология совершенствования теории взаимодействия рабочих органов бетоноотделочных машин с поверхностью обрабатываемых сред» в докторском совете при Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительного университете (СПбГАСУ).

Награжден Почетной грамотой и Дипломом Министерства образования РФ, а так же нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ»

В 2003 году был избран по одномандатному избирательному округу депутатом Братской городской Думы, являлся заместителем председателя Думы, членом политического совета Братского городского местного отделения Всероссийской политической партии «Единая Россия».

Поздравляем Мамаева Леонида Алексеевича, с юбилеем, желаем дальнейших творческих успехов, здоровья, удачи в его научно-педагогической деятельности!

ОПУБЛИКОВАННЫЕ МОНОГРАФИИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ПО ТЕМАТИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Неупругое сопротивление в автомобильных шинах, элементах подвески и виброзащиты.

УДК 629.11.012.5.002.612

Рыков С.П.

Неупругое сопротивление в автомобильных шинах, элементах подвески и виброзащиты. Теория, эксперимент, приложения:монография : В 2 ч./ С.П.Рыков.– Братск :ФГБОУ ВО «БрГУ», 2023. –Ч. 1. – 254с., – Ч.2. – 254с.

ISBN 978-5-8166-0540-3 (ч. 1)
ISBN 978-5-8166-0538-0

Рецензенты: ***С.П. Озорнин***, д-р техн. наук, профессор, директор на учно-образовательного центра проблем транспорта и сервиса машин Забайкальского государственного университета (г. Чита);
В.А. Иванов, д-р техн. наук, профессор, профессоркафедрыВиПЛРФГБОУ ВО «БрГУ» (г. Братск)

Рассматриваются вопросы моделирования внутреннего неупругого сопротивления в пневматических шинах, показаны результаты теоретических исследований колебаний рессорной подвески, даётся расчет колебаний автомобиля в режиме случайного воздействия неровностей дороги на колеса с учетом разработанной модели неупругого сопротивления в шине. Приводятся результаты экспериментальной оценки параметров модели, обосновываются её приложения к моделированию неупругого сопротивления в элементах подвески и виброзащиты автомобиля, а также сопротивления качению колеса.

Монография представлена в двух частях. Первая часть включает первые три главы издания.

Вторая часть включает четвертую и пятую главы и приложение.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся конструированием, исследованием и испытанием автомобильных шин, элементов подвески и виброзащиты, а ттакже колесной техники в целом.Также будет полезна аспирантам и магистрантам при подготовке диссертационных работ по схожей тематике.

Содержание

Эксплуатация и ремонт машин и оборудования

Зеньков С.А., Минеев Д.А., Высоцкий Е.С., Ревин Д.В. Использование лазерных систем управления на бульдозере 4

Зеньков С.А., Минеев Д.А., Высоцкий Е.С., Медведев С.Н. Особенности работы симметричного бетонолома 8

Зеньков С.А., Дрюпин П.Ю., Бондалет И.С., Ревин Д.В. Определение эффективности применения силиконового пластинчатого нагревательного элемента для снижения намерзания грунта к землеройным машинам 12

Чебан А.Ю. Модернизированная фрезерная машина для разработки сложноструктурных наклонных угольных пластов 17

Чебан А.Ю. Горный комбайн с комбинированным оборудованием для выемки тонких рудных жил 21

Ереско А. С., Терсков Д.Ю., Ереско С.П. Расширение функциональных возможностей лабораторного стенда ГПС-01 25

Бордачев В.А. , Кустов А.В. Межорбитальный корабль с возможностью дозаправки на орбите 30

Востоков Н.В., Иванов К.Э. Влияние высоких температур на работоспособность гидропривода строительной техники 33

Солодко К. В., Сарычев А.В., Гореликов М.А., Жаров. В.М., Погонина А.М. Разработка стенда для определения эффективности различных типов отвалов 37

Минц Д.С., Погонина А.М. Проектирование и расчет гидроножничного рабочего оборудования спецшасси для демонтажных работ в условиях техногенных и природных катастроф 40

Коншин П.Ю., Погонина А.М. Разработка удерживающего и направляющего оборудования машины для установки гибкого тросового ограждения на дорогах 44

Маслов И.Н. , Комиссаров Н.В. Повышение надёжности автосамосвалов путём мониторинга их загрузки на породных отвалах 47

Маслов И.Н. , Комиссаров Н.В. Задача управления крылом гидросамолета 49

Куимов О. С., Ситов И. С., Герасимов С. Н. Автоматизация процесса обработки незатвердевших бетонных поверхностей. 52

Мамаев Л.А., Герасимов С.Н., Федоров В.С., Юсупов Ю.К. Изучение процессов термообработки незатвердевших бетонных поверхностей 59

Ереско С.П., Куренкин А. С., Палкин А. С., Пестов В. В., Симаков А. А., Станкевич И. Д., Угрюмов А. В. Совершенствование технологии индукционного нагрева цистерн с вязкими нефтепродуктами 62

Минин В.В., Дмитриев В.А., Бутрим К.Н. Оптимизация параметров сортировочного ковша экскаватора 70

Мамаев Л.А., Федоров В.С., Герасимов С.Н., Портнягина А.В., Шаура А.С. Электрофизическая обработка незатвердевших бетонов 75

Плеханов Н.Г. Расчет параметров активного гидропривода центрифуги для очистки гидравлических масел 80

Содержание

Современные технологии и автоматизация в машиностроении

Нигодин Ю.А., Нигодин Е.А. Цифровое моделирование производственного процесса в тяжелом машиностроении 90

Польшин А.А., Голубева Н.Д., Мальцев А.К., Тихонов А.А. Анализ комбинированных режущих инструментов и техническое решение повышения точности при механической обработке 93

Антипин В. А., Малышев А. Н. Обработка пакета листовых заготовок на электроэрозионных проволочно-вырезных станках 96

Иванов П. А., Левко В.А. Сравнительный анализ эффективности технологий обработки абразивным потоком и гидроабразивной обработки внутренних каналов сложной геометрии 100

Аветисян А.С. Применение актуальных технических приемов и методов автоматизации в сетях электроснабжения сектора машиностроения 103

Рожкова Е.А., Кустов А.В. Методы контроля и испытаний, применяемые на предприятиях, изготавливающие изделия повышенной точности 105

Рожкова Е.А., Кустов А.В. Анализ аддитивных технологий в машиностроении и в разработке ракетно-космических комплексов 113

Дудникова С.А., Борисова О.В. Инновации в области робототехники и автоматических систем в машиностроении 117

Назарьев А.В., Бочкарёв П.Ю. Формирование правил распределения требований к сборке высокоточных изделий 120

Рожкова Е.А., Кустов А.В. Обеспечения герметичности бака из композиционных материалов 125

Мишин А. В., Шалабай А.С. Необходимость применения матричного производства на отечественных заводах машиностроения 129

Михайлов А.Н., Котляров В.Б., Котляров С.Б., Котляров Б.С. Порядок разработки функционально-ориентированных технологических воздействий для формирования поверхностных свойств детали 133

Иванов И.Н., Иванов В.Н., Попов В.Ю. Изготовление фрезерного станка с ЧПУ 145

Хлыстов А.Н., Попов В.Ю. Реализация метода молекулярной динамики в Blender 151

Мохначев В.А., Попова М.В. Технологии искусственного интеллекта в российских компаниях 156

Бородин Р.К., Попова М.В. Сравнение экономической эффективности методов шлифования высокопористыми кругами 161

Эйтерник А.Ю., Борисова О.В. Сравнительный анализ применения CALS-технологий в России и за рубежом в области машиностроения 168

Добросоцкий Н. М., Антоненко И.Р., Шастовский П. С. Квадрофилярная антенна 137 мгц для приема радиосигнала спутников «cubesat» 171

Буленков Е. А., Тяпков Н. Р. Общий алгоритм использования облачных технологий при проектировании технологического процесса изготовления детали 173

Маслов И.Н., Сарбаева Я.И. Автоматизация производства в машиностроительной промышленности 176

Содержание

Конструкции, технические и эксплуатационные свойства транспортных средств

Попов А.М., Мехдиев Р.В.О. Исследования износа и вибраций зубчатых передач в сельскохозяйственном оборудовании 182
Садовникова Я.С., Мандровский К.П. Обзор исследований процессов распределения твёрдого противогололёдного материала дисковым оборудованием 187

Павлов С.А., Цветков М.С. Определение устойчивости модифицируемой уборочной техники для содержания приаэродромных территорий 193
Лежиков С.В., Мальчиков С.В. Регулирование скорости сгорания топливо-воздушной смеси в бензиновых двигателях повышенной степени сжатия 198
Тетерин М.Ф., Миронова О.В., Салахутдинова Т.Г. Результаты определения смазывающей способности дизельного топлива, применяемого в ходе эксплуатации автомобилей КАМАЗ 201
Бордачев В.А., Кустов А.В. Влияние гироскопичности вала турбонасосного агрегата на полет ракеты 207
Бордачев В.А., Кустов А.В. Влияние реализации многоразовых запусков ракеты 210
Рыков С.П., Мазур В.В., Рыкова О.А. Разработка прикладных теорий и методов исследования – как результат создания и применения уникального экспериментального оборудования 213
Перекрестов А.М. Ремни привода вспомогательных агрегатов автомобилей 225
Соколовский А.Я., Соколовская Е.А. Повышение комфортности и безопасности жизнеобеспечения автотуристов 228

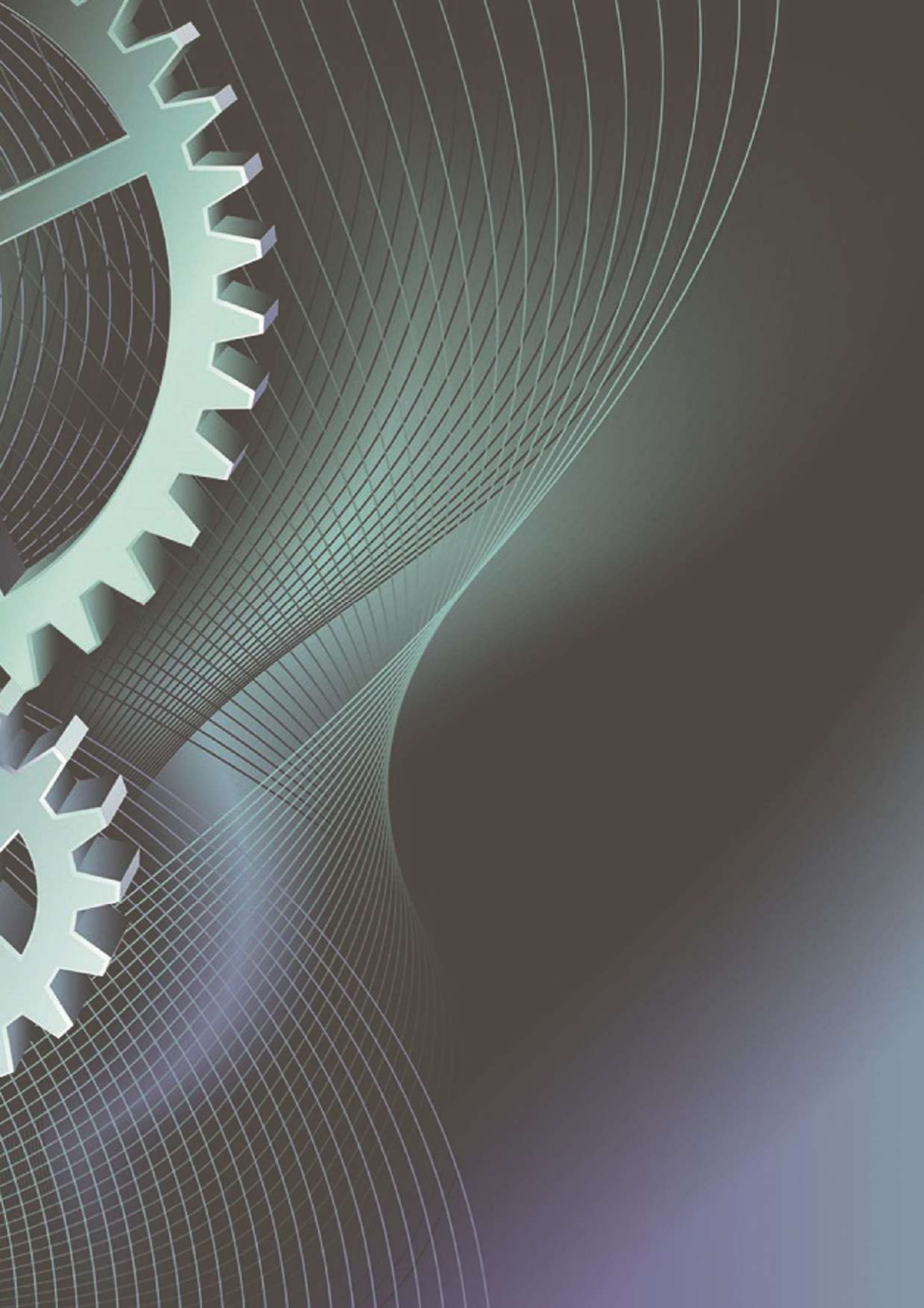
Материаловедение, динамика и прочность машин и механизмов

Белоголов Ю.И. К вопросу сопоставления результатов полученных аналитическим путем и при конечно-элементном моделировании 236
Кукушкин Е. В., Ереско С. П., Ереско Т. Т. Совершенствование конструкции карданной передачи 240
Липунов В.Н., Маркидонов А.В. Моделирование формирования дислокационной структуры в кристалле, содержащем обедненную зону 243
Ташлыкова О.А., Портнягина А.В., Герасимов С.Н., Мамаев Л.А. Использование конструкционных и защитно-отделочных материалов в машиностроении 248
Ташлыкова О.А., Портнягина А.В., Герасимов С.Н., Кобзова И.О Конструкционные и защитно-отделочные материалы 254
Горунович С. Б. Развитие энергетического метода приближенных расчетов сложных конструкций на примере проектирования площадки обслуживания 259
Фисенко Е.Н., Сабиров Р.А. Напряженно-деформированное состояние подвешенной на тросах системы трех балок при различных видах закрепления 270
Гиннэ С.В. К вопросу о современных аморфных металлических материалах 272
Неклюдова Г.А., Евтух Е.С. Применение МКЭ для анализа коэффициентов концентрации напряжений в стержнях при расчете на усталостную прочность 278
Титова А.В., Карпов А.И. Особенности построения расчетной схемы для моделирования динамики пневмогидравлических амортизаторов 283

Толстошеев А.К. Исследование собственных колебаний плоского манипулятора параллельной структуры 287
Зеньков Е.В. Оценка сходимости конечно-элементных приближений в решении задач прочности деталей с U-образными вырезами 294
Веремейчик А.И. Исследование температурных полей при действии сосредоточенного и распределенного стационарного потока на границу полубесконечной среды 300
Мамаев Л.А., Кашуба В.Б. , Кашуба В.В., Лапуха О.С. Возможности упрощения механических колебательных систем с дополнительными рычажными связями 309
Мамаев Л.А., Кашуба В.Б. , Кашуба В.В., Лапуха О.С. Возможности построения математических моделей для объектов с двумя степенями свободы, в которых режимы динамического гашения реализуются рычажными механизмами 317

Юбилеи, даты, события

Опубликованные монографии и учебные пособия по тематикам конференции 323

Опубликовано в авторской редакции

Подписано в печать18.05.2023
Формат 84×108 1/16
Печать трафаретная
Уч.-изд.л 27,25 Усл.печ.л. 27,25.
Заказ 35
Электронная версия издания размещена
в локальной сети ФГБОУ ВО «БрГУ» в разделе «Библиотека»
Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «БрГУ»
665709, г. Братск Иркутской области, ул. Макаренко 40