

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт механики и машиностроения



# ИНЖЕНЕРНЫЕ КАДРЫ – БУДУЩЕЕ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Материалы IV Всероссийской  
студенческой конференции

*Йошкар-Ола, 20-23 ноября 2018 г.*

Часть 1

ИНЖИНИРИНГОВЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ  
СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Йошкар-Ола  
2018

УДК 378:621

ББК 74.58

И 62

**Руководитель проекта**

*Андреанов Ю. С.*, начальник Управления  
научной и инновационной деятельности ПГТУ

**Редакционная коллегия:**

*Сютлов Н.П.*, канд. техн. наук, доцент, директор Института механики и машиностроения ПГТУ;

*Ласточкин Д.М.*, канд. техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе Института механики и машиностроения;

*Алибеков С.Я.*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой машиностроения и материаловедения;

*Медяков А.А.*, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой энергообеспечения предприятий;

*Костромин Д.В.*, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой эксплуатации машин и оборудования;

*Павлов А.И.*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой транспортно-технологических машин.

**Инженерные кадры – будущее инновационной экономики**

И 62 **России:** материалы IV Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 20-23 ноября 2018 г.): в 8 ч. Часть 1: Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. – 192 с.

ISBN 978-5-8158-2047-0

ISBN 978-5-8158-2048-7 (Ч. 1)

В сборнике материалов Всероссийской студенческой конференции «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России» представлены результаты научно-исследовательских работ студентов, магистрантов, аспирантов в области энергоэффективных технологий, механики и машиностроения с перспективой их практического использования.

УДК 378:621

ББК 74.58

ISBN 978-5-8158-2048-7 (Ч. 1)

ISBN 978-5-8158-2047-0

© Поволжский государственный  
технологический университет, 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные технологии и подходы к организации производства на основе широкого использования последних достижений науки и техники предъявляют сегодня новые требования к уровню подготовки инженерных кадров. Новые инженерные кадры должны быстро воспринимать передовые знания и воплощать эти знания в практической деятельности. Эти навыки будущим профессионалам помогает выработать сочетание учебно-образовательной и научно-исследовательской деятельности.

В настоящем издании представлены материалы секции «Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства» Всероссийской студенческой конференции «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», которая проходила в рамках одноимённого форума 20-23 ноября 2018 года в Поволжском государственном технологическом университете. Участие студентов в данной конференции – их первый вклад в свое будущее и в будущее развития инженерных кадров Российской Федерации.

Тематика основных направлений секции связана с применением инжиниринговых технологий в современном производстве. Материалы конференции отражают результаты студенческих исследований в таких актуальных областях:

- энергоэффективные технологии;
- альтернативная энергетика;
- порошковая металлургия;
- перекачка нефтепродуктов;
- нанотехнологии в производстве;
- САПР.

Статьи, представленные для публикации молодыми исследователями из вузов Йошкар-Олы, Казани, Саратова, Москвы, Чебоксар, Ярославля и других городов, рассмотрены программным комитетом конференции. Лучшие из них включены в настоящий сборник. По результатам презентаций докладов многие из авторов отмечены дипломами соответствующей степени.

Редакционная коллегия сборника выражает искреннюю благодарность участникам конференции, их научным руководителям и консультантам за высокий уровень представленных работ. Будем рады видеть вас в следующем году с новыми интересными докладами.

УДК 551.508.54

**Алексеев Николай Сергеевич,**  
направление Конструирование и технология электронных средств  
(магистратура), гр. ЭВС (м)-11

Научный руководитель **Алиев Марат Туфикович,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования и производства электронно-  
вычислительных средств  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА**

**Актуальность.** Построение полей скоростей перемещения водных и воздушных масс является одной из важнейших задач мониторинга. Оперативное получение достоверных полей скоростей ветров и течений является необходимым условием для точного прогнозирования погоды и моделирования климатических изменений глобального масштаба. Анализ состояния метеорологических полей, в свою очередь, является основной задачей синоптического анализа. Для синоптика важно выявить причины, приводящие к изменению этих полей в пространстве и времени, уловить тенденцию их развития [1].

**Цель проекта** – разработка структуры и описание принципа действия информационно-вычислительной системы скорости и направления ветра в трехмерном пространстве, основанного на свойствах теплообмена поверхности тел сферической формы.

**Теоретический анализ.** Тело сферической формы в потоке жидкости или газа производит за собой наиболее сильные возмущения, что связано с образованием попутного течения или течения в следе [2]. Длина следа и его структура зависят от характера потока (ламинарного или турбулентного), обтекающего сферу.

На рисунке 1 показано изменение поля течения около сферы при до- и сверхкритическом значении числа Рейнольдса. До тех пор, пока пограничный слой на поверхности сферы остается ламинарным, положение точки отрыва пограничного слоя соответствует углу  $\sim 110^\circ$  (рис. 1, *а*). При достижении критического значения числа  $Re \geq 2,5 \cdot 10^5$  происходит смещение вниз по течению циркуляционной зоны и уменьшение ее размера (см. рис. 1, *б*), что подтверждают экспериментальные данные [3].

Информационно-вычислительная система скорости и направления ветра в трехмерном пространстве, включающая термоанемометрические датчики, каждый из которых соединен со своим усилителем термоЭДС,

соединенным, в свою очередь, с вычислительным блоком, отличающееся тем, что термоанемометрические датчики расположены с заданным шагом на сферической поверхности, изготовленной из материала, плохо проводящего тепло, в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, проходящих через центр сферы, вычислительный блок содержит блок определения координат трех минимальных значений термоЭДС, блок вычисления вектора направления потока, блок вычисления среднего значения термоЭДС, блок памяти скорости потока по данным первоначальной калибровки и дешифратор, причем выход блока усиления термоЭДС соединен с входом блока определения координат трех минимальных значений термоЭДС и входом блока вычисления среднего значения термоЭДС, выход блока определения координат трех минимальных значений термоЭДС соединен с входом блока вычисления вектора направления потока, выход блока вычисления вектора направления потока соединен с входом блока индикации направления потока, выход блока вычисления среднего значения термоЭДС соединен с входом блока памяти скорости потока по данным первоначальной калибровки и дешифратором, выход которого соединен с входом блока индикации скорости потока (рис. 2).

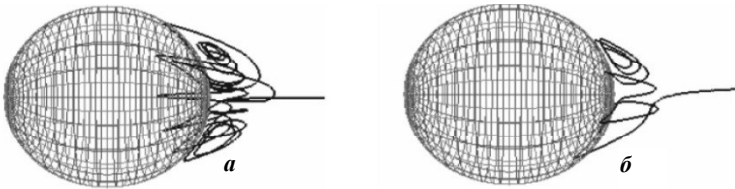


Рис. 1. Влияние числа Рейнольдса на картину течения около сферы:  $a - Re = 1,71 \cdot 10^5$ ;  $b - Re = 4,24 \cdot 10^5$



Рис. 2. Структурная схема системы

**Заключение.** Современные приборы, которыми оснащено большинство метеостанций, измеряют направление ветра только в горизонтальной плоскости. Однако вертикальная составляющая вектора скорости ветра играет большую роль в развитии атмосферных процессов.

В данной работе предложена структура и описан принцип действия информационно-вычислительной системы скорости и направления ветра в трехмерном пространстве, позволяющего получать новые данные для исследований – поля направлений вектора скорости подвижных сред в трехмерном пространстве.

#### **Список литературы**

1. Дашко, Н. А. Курс лекций по синоптической метеорологии / Н. А. Дашко. – Владивосток: Дальневосточный государственный университет, 2005. – 328 с.
2. Петров, К. П. Аэродинамика тел простейших форм: научное издание / К. П. Петров. – М.: Факториал, 1998. – 432 с.
3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

УДК 697.3

**Алимкулова Светлана Равшановна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ПТСм-1-17

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ**

**Цель работы** – исследование эффективности перехода к индивидуальным тепловым пунктам в рамках реконструкции системы теплоснабжения.

В настоящее время из-за неэффективного теплоснабжения происходит значительный переизбыток как энергетического, так и материально-го расхода ресурсов. В связи с постоянным увеличением цен на энергетические носители, эффективное использование ресурсов является одним из самых актуальных и приоритетных решений в вопросах энергоэффективности и энергосбережения. Существующая на сегодняшний день система транспортировки тепловой энергии потребителям че-

рез центральные тепловые пункты (ЦТП) устарела и имеет ряд недостатков [1]:

- 1) потери теплоты от внешнего охлаждения могут в 3-4 раза превышать нормируемое значение потерь тепловой мощности;
- 2) утечки теплоносителя могут в 40 раз превышать нормируемое значение потерь с утечками в сети;
- 3) большие затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя.

Значительные потери теплоты вызваны плохим состоянием гидравлической и тепловой изоляции трубопроводов, износом и неудовлетворительным качеством монтажа оборудования систем централизованного теплоснабжения [2]. Все это способствует возникновению аварийных ситуаций при эксплуатации тепловой сети, и, следовательно, неудовлетворенности потребителей качеством оказания услуг по отпуску теплоты.

В последние годы появилось достаточно много способов решения данной проблемы. Однако большинство из них имеет меньшую эффективность в сравнении с установкой индивидуального теплового пункта (ИТП) [1].

Энергосбережение достигается, в частности, за счет регулирования температуры теплоносителя с учетом поправки на изменение температуры наружного воздуха. Для этих целей в каждом тепловом пункте применяют комплекс оборудования для обеспечения необходимой циркуляции в системе отопления (циркуляционные насосы) и регулирования температуры теплоносителя (регулирующие клапаны с электрическими приводами, контроллеры с датчиками температуры).

Таким образом, переход от ЦТП к ИТП позволит:

- 1) снизить расход энергоресурсов на теплоснабжение;
- 2) как следствие из пункта 1, сократить выброс парниковых газов и других веществ в атмосферу, что способствует положительному влиянию на экологию в целом;
- 3) повысить надежность работы тепловых сетей и сократить потери тепла, за счет установки устройства непосредственно внутри здания;
- 4) выработать большее количество электроэнергии с теми же условиями, благодаря более качественному отбору тепла в ИТП;
- 5) существенно сократить объем водоподготовки в котельных и на ТЭЦ за счет меньшего расхода реагентов химического производства;
- 6) снизить потребление энергии на деаэрирование воды с использованием теплообменников для горячего водоснабжения в ИТП [3];

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать **вывод**, что более эффективным и целесообразным на сегодняшний день является перенос тепловых пунктов ближе к обслуживаемому зданию, что сокращает капиталовложения и эксплуатационные затраты. При этом значительно повышается эффективность использования тепловой энергии, основы, сти-

мулирования которого установлены Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

#### **Список литературы**

1. Рябинкин, В. Н. Проблемы в энергосбережении / В. Н. Рябинкин // Градостроительство. – 2012. – № 3. – С. 81-86.
2. Самутенко, К. С. Автономная система теплоснабжения / К. С. Самутенко, Д. С. Лобов // Актуальные вопросы энергетики: материалы Международной научно-практической конференции / Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2017. – С. 164-167.
3. Алимкулова, С. Р. Внедрение индивидуальных тепловых пунктов в систему теплоснабжения / С. Р. Алимкулова // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 139.
4. Алимкулова, С. Р. Сравнение зависимой и независимой схем подключения индивидуального теплового пункта к тепловой сети / С. Р. Алимкулова // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIII Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам. – 2018. – С. 57-58.

УДК 621.039.743

**Ананич Роман Олегович,**

специальность Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Научный руководитель **Ростунцова Ирина Алексеевна,**

ассистент кафедры тепловой и атомной энергетики

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА ПЛОЩАДКЕ АЭС**

В настоящее время две особенности ядерного топливного цикла: радиационная опасность технологий топливного цикла и риск распространения ядерных материалов, полученных в результате переработки, поэтому эксплуатация атомных электростанций (АЭС) требует более совершенных мер решения проблемы утилизации и хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

**Целью исследования** является оценка эффективности и безопасности современного пристанционного ХОЯТ на АЭС с ВВЭР-1200. При этом решаются следующие задачи:



- 1) анализ метода хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на площадке АЭС;
- 2) определение активности РАО;
- 3) расчёт радиационных характеристик ХОЯТ, исходя из условий подкритичности системы.

Рассмотрим транспортно-технологическую схему обращения ядерного топлива при работе АЭС:

- свежее топливо поставляется на станцию;
- загружается и обрабатывается в реакторе;
- отработанное топливо поступает в бассейн выдержки;
- извлечение из бассейна;
- дальнейшее обращение с отработанным топливом.

### **Метод хранения отработанного ядерного топлива на площадке АЭС**

На сегодняшний день целесообразно выбирать в отношении ОЯТ его долговременное хранение на территории АЭС с отсрочкой на будущее принятие решения об окончании топливного цикла. Для долговременного хранения ОЯТ используются технологии мокрого и сухого хранения. К их наиболее существенным плюсам относятся:

- использование готовых транспортных коммуникаций, объединение инфраструктуры, а также малое расстояние для перевозок ОЯТ;
- подчинение администрации АЭС, сравнительно оперативная локализация аварийных ситуаций в пределах станции;
- отсутствие необходимости в геотехнических исследованиях в полном объеме (Зона расположения уже исследована при выборе площадки АЭС).

Сравнительные показатели мокрого и сухого хранения отработанного ядерного топлива приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### **Сравнительные показатели долговременного хранения ОЯТ АЭС**

Наименование показателя	Единицы измерения	«Мокрое» хранилище	«Сухое» хранилище
Объем хранения ОЯТ	т U	6000	37785
Объем воды в бассейнах	тыс.м <sup>3</sup>	606,6	-
Испарение воды	м <sup>3</sup> /год	15284	-
Расход электроэнергии на собственные нужды	тыс. кВт·ч/год·т U	56,8	2,5
Стоимость строительства (в ценах 1991 г.)	млн руб.	180,0	428,0

Рациональность сооружения промежуточного хранилища на территории АЭС обоснована не только тем, что его наличие позволит долговременно хранить и производить вывоз РАО вне зависимости от начала перегрузки топлива в реакторе, но также и ускорит сам процесс транспортировки.

### **Определение активности РАО**

Для того чтобы планировать концепцию ХОЯТ, необходимо изучить активность радионуклидов в течение времени.

На основе данных НИЦ «Курчатовский институт» об изучении динамики изменения активности ядерного топлива после его извлечения из реактора можно сказать, что активность ОЯТ падает в течение 10 лет.

Таблица 2

### **Остаточное энерговыделение продуктов деления облучённого топлива**

Время хранения, год	1	3	5	10	25
Энерговыделение кВт/ОТВС	0,36	0,16	0,11	0,065	0,044

Следовательно, активность снижается до норм, определяющих безопасность транспортировки отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) из промежуточного ХОЯТ на территории АЭС в долговременное хранилище.

### **Радиационные характеристики ХОЯТ, исходя из условий подкритичности системы**

На сегодняшний день исходя из нейтронно-физических расчётов для всех хранилищ ОЯТ обосновывается ядерная безопасность. Конструкция должна обеспечивать подкритичный режим  $K_{эфф} < 1$ , когда процесс размножения нейтронов затухает. При этом эффективный коэффициент размножения  $K_{эфф}$  для хранилищ должен составлять не более 0,95 при нормальной эксплуатации и не более 0,98 при единичном исходном событии.

Для АЭС 4800 МВт с реакторами ВВЭР-1200, с использованием нейтронно-физического расчета, определена подкритичность системы хранения ОЯТ. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3

### **Результаты определения эффективного коэффициента размножения на основе нейтронно-физического расчета**

Число нейтронов, испускаемых при одном акте деления	1,6	1,4	1,2	1
Эффективный коэффициент размножения	0,9432	0,8256	0,7072	0,5896

В итоге можно отметить, что при условии нормальной эксплуатации пристанционное хранилище ОЯТ является подкритичной системой, что говорит о ядерной безопасности данного объекта.

### **Список литературы**

1. Хвостова, М. С. Экологические проблемы накопления отработавшего ядерного топлива в России / М. С. Хвостова // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – М., 2012. – Вып. 2. – С. 104-113.
2. Послереакторная часть уранового топливного цикла: курс лекций / И. Н. Бекман. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 867 с.
3. Андрюшин, И. А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом / И. А. Андрюшин, Ю. А. Юдин. – Саров: Изд-во Типография ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – 2010. – Ч. 1. – 119 с.
4. Андрюшин, И. А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом / И. А. Андрюшин, Ю. А. Юдин. – Саров: Изд-во Типография ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – 2010. – Ч. 2. – 119 с.
5. Нейтронно-физический расчет и оптимизация схем сухого хранения ядерного топлива тепловых реакторов [Презентация] / В. В. Кнышев, М. Н. Плевако, С. В. Беденко. – Томск, 2015. – 27 с.
6. Правила ядерной безопасности при хранении и транспортировке ядерно-опасных делящихся материалов: правила от 21.05.91. № 253 // Правила и нормы в атомной энергетике ПиНАЭ п. 14.2. – 1991. – 30 с.
7. Перспективы повышения эффективности использования топлива в рамках проекта АЭС-2006 / К. Ю. Куракин [и др.]; ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС» – Подольск, 2006. – 9 с.

УДК 62-69

**Андреянов Роман Юрьевич,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ТТм-21

Научный руководитель **Хлебников Валерий Алексеевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## **ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ ИНСТРУМЕНТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ?**

**Цель работы** – обосновать, что установка автоматического теплового пункта (АТП) в рамках системы теплоснабжения не является инструментом энергосбережения.

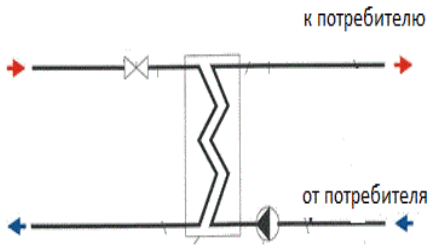
Само понятие «энергосбережение» стали использовать в России давно, еще в советский период. На сегодняшний день энергосбережение

характеризуется понятийным аппаратом, приведенным в главном Федеральном законе «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261-ФЗ от 23.11.2009.

*Энергосбережение* – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

Рассмотрим принцип действия характерного АТП Санкт-Петербургского объединения «Взлёт».

Схема теплового пункта напрямую зависит от особенностей источника, снабжающего энергией АТП, а также от особенностей обслуживаемых им потребителей. Наиболее распространенной для данной тепловой установки является закрытая система горячего водоснабжения с подключением отопительной системы по независимой схеме (см. рисунок).



Упрощенная схема АТП

Существует три вида регулирования отопления: качественное, количественное и качественное-количественное.

В АТП «Взлет» используется качественное регулирование, при котором меняется только температура, а расход остается постоянным.

Рассмотрим уравнение расхода несжимаемой жидкости

$$Q_m = v_2 p F_2 = u v_2 p F_0.$$

Получается, что АТП не является инструментом энергосбережения. АТП созданы для совершенствования среды обитания человека, снижения платы за отопление.

### Выводы

Установка автоматических тепловых пунктов в многоквартирных домах не является инструментом энергосбережения.

С помощью АТП с качественным регулированием нельзя уменьшить объем потребления энергетических ресурсов. АТП применяются исключительно для повышения комфортного проживания людей и экономии средств.

### Список литературы

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и в теплотехнологиях / О. Л. Данилов, А. Б. Гаряев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А. В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.
2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017).
3. Назмеев, Ю. Г. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий: учебное пособие для студентов вузов / Ю. Г. Назмеев, И. А. Конахина. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 407 с.
4. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов» / В. П. Преображенский. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.

УДК 531. 1: 656. 1

**Андрианов Денис Юрьевич,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(бакалавриат), гр. ЭТМ-31

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПОВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА СНЕГОХОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

**Актуальность работы.** При освоении северных территорий предполагается разработка новых технологий, включая создание беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести.

Это устройство позволяет смещать центр тяжести полезной нагрузки относительно оси транспортной платформы посредством кинематических связанных между собой приводных скошенных колец путём их относительного поворота [1].

К одному из преимуществ данной беспилотной платформы можно отнести её *боковую устойчивость*, то есть способность платформы не падать, не заваливаться на бок во время погрузки, движения и разгрузки. Однако эту устойчивость надо обеспечить. Обеспечить, выполняя условие боковой устойчивости [2].

В работе [3] установлено существование таких опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы, заезд в которые может привести к серьёзным нежелательным последствиям. Определены формы и размеры опасных зон, подлежащих исключению из области движения платформы. Это позволит безопасно получать максимально

допустимую скорость, исключая боковое опрокидывание беспилотной транспортной платформы во время движения, учитывая условие боковой устойчивости. В случае появления препятствия на прямолинейной траектории движения производится оценка возможности: или остановиться, не сталкиваясь с препятствием, или «уклониться», поворачивая в сторону и не падая на бок.

При повороте срабатывает механизм боковой устойчивости посредством кинематических связанных между собой приводных скошенных колец. Каждое скошенное кольцо можно разбить на элементарные пирамиды.

**Целью работы** является расчёт координат центра тяжести элемента поворотного механизма, рассечённого на элементарные пирамиды.

Рассмотрим однородное тело  $T$ , ограниченное снизу горизонтальной плоскостью  $xOy$ , сверху – второй плоскостью, составляющей с плоскостью  $xOy$  двугранный угол  $\gamma$  (пересекаясь вдоль осей), и боковой цилиндрической поверхностью радиуса  $R$  (рис. 1).

Разобьём тело  $T$  вертикальными плоскостями, проходящими «веером» через начало координат  $O$ , получая  $n$  элементарных пирамид с вершиной  $O$  и основаниями вида  $A_1A_2B_2B_1$

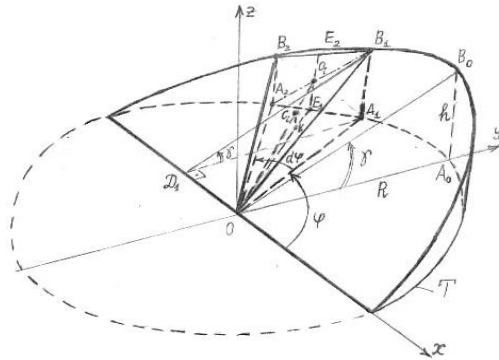


Рис. 1. Элементарная пирамида

$$A_1B_1 \parallel A_2B_2, OA_1 \perp A_1B_1, OA_2 \perp A_2B_2, OE_1 \perp E_1O_i.$$

Диагонали такого основания пересекаются в точке  $O_i$ .

При усилении дробления тела  $T$ , при неограниченном увеличении  $n$ , высота  $OE_1$  стремится к радиусу  $R$ . По рисункам 1 и 2 находим

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{A_0B_0}{OA_0} = \frac{h}{R}, OA_1 = R, D_1A_1 = OA_1 \cdot \sin \varphi = R \cdot \sin \varphi,$$

$$A_1B_1 = D_1A_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma = R \cdot \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma, E_1O_i = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot A_1B_1,$$

$$OO_i = \sqrt{OE_i^2 + (E_iO_i)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{A_iB_i}{2}\right)^2}.$$

При неограниченном увеличении числа  $n$  размеры  $A_1A_2$  и  $B_2B_1$  становятся равными друг другу и тело  $T$  можно рассматривать состоящим из  $n$  элементарных пирамид, каждая из которых симметрична относительно своей плоскости  $OE_1E_2$  и у каждой центр тяжести основания  $A_1A_2B_2B_1$  находится в точке пересечения диагоналей  $O_i$ . Поэтому центр тяжести каждой  $i$ -ой элементарной пирамиды расположен на прямой  $OO_i$ .

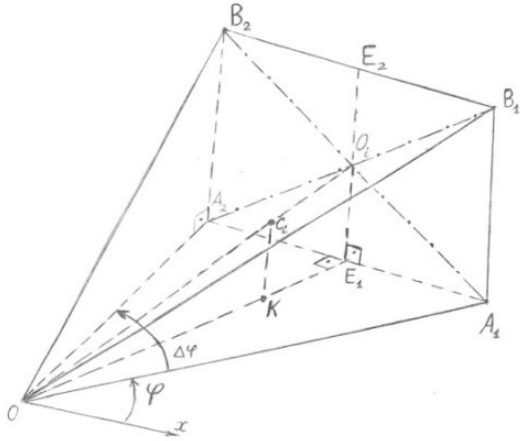


Рис. 2. Элементарная пирамида

Известно, что центр тяжести (в нашем случае точка  $C_i$ ) однородной пирамиды лежит на отрезке прямой, соединяющей вершины пирамиды с центром тяжести  $O_i$  основания  $A_1A_2B_2B_1$  на расстоянии одной четверти длины этого отрезка, считая от основания.

Следовательно,  $O_iC_i = (1/4) OO_i$  и тогда  $OC_i = \frac{3}{4} \cdot OO_i$ .

Таким образом, центры тяжести каждой из элементарных пирамид расположены на расстоянии три четверти длины  $OC_i$  соответствующих отрезков, считая от общей вершины пирамид  $O$  до центров тяжести их оснований.

Представляет интерес найти координаты центра тяжести каждой из элементарных пирамид.

При этом получаем:

$$OC_i = \frac{3}{4} \cdot OO_i = \frac{3}{4} \sqrt{R^2 + \frac{1}{4}(R \cdot \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma)^2} = \frac{3}{4} \cdot R \cdot \sqrt{1 + 0,25 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot \sin^2 \varphi}.$$

Из точки  $C_i$  (из центра тяжести  $i$ -той элементарной пирамиды) опустим перпендикуляр  $C_iK$  на горизонтальную плоскость.

Получились подобные треугольники  $\Delta OKC_i \sim \Delta OE_1O_i$ . Следовательно:  $OC_i/OO_i = (OK/OE_1)$ . Поэтому  $OK = \frac{3}{4} \cdot OE_1$ , а при неограниченном увеличении  $n$  высота треугольника стремится к радиусу окружности и получаем  $OK = \frac{3}{4} \cdot R$ .

Тогда координаты центра тяжести каждой  $i$ -ой элементарной пирамиды равны

$$\begin{cases} X_{ci} = \frac{3}{4} R \cos \varphi, \\ Y_{ci} = \frac{3}{4} R \sin \varphi, \\ Z_{ci} = \frac{3}{8} R \cdot \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma = \frac{3}{8} h \cdot \sin \varphi, \end{cases}$$

где  $\operatorname{tg} \gamma = \frac{h}{R}$ .

**Выводы и практические рекомендации.** Найденные координаты центра тяжести всего тела  $T$  позволяют, управляя положением центра тяжести, повысить устойчивость вышеуказанной беспилотной платформы за счёт исключения входа платформы в опасные зоны, обнаруженные в работе [2].

### Список литературы

1. Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести: патент на полезную модель № RU159557 / И. А. Кудрявцев, А. В. Егоров, Ю. С. Андрианов, Д. Ю. Андрианов, 2015.
2. Андрианов, Д. Ю. Условие боковой устойчивости беспилотной транспортной платформы, движущейся по горизонтальной поверхности / Д. Ю. Андрианов, П. А. Фищенко // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 21-25 ноября 2016 г.): в 8 ч. Часть 1: Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – С. 8-13.
3. Андрианов, Д. Ю. Форма опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы / Д. Ю. Андрианов, П. А. Фищенко // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. – 2017, Вып. 5. – С. 209-306.
4. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики/ С. М. Тарг. – М.: Наука, ГРФМ, 1972. – 480 с.



УДК 62:1

**Апьялиев Михаил Ринатович, Лебедев Григорий Вячеславович,  
Хорошавина Татьяна Алексеевна,**  
направление Технологические машины и оборудование (бакалавриат),  
гр. ТМО-41

Научный руководитель **Кайдаков Александр Михайлович,**  
доцент кафедры транспортно-технологических машин  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ СЖАТОГО ГАЗА НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

**Введение.** Ежедневно во всем мире огромное количество природного газа транспортируется по трубопроводам от источника до потребителя. Через ГРС газ отводится из труб магистрального трубопровода при давлении 7,5 МПа потребителю – городу, поселку или крупному промышленному объекту с понижением давления до 1,2; 0,6; 0,3 МПа.

Снижение давления происходит на клапанах, а энергия газа утрачивается безвозвратно. В газовых машинах используют эффект резкого снижения температуры при расширении сжатого газа с отдачей работы.

Машина с такой конструкцией называется детандером. Лучше всего подходит использование турбодетандерных агрегатов (ДГА) на базе газорасширительных турбин при постройке газораспределительных станций. Получение низких температур для сжижения газов осуществляется расширением сжатых газов с совершением внешней работы в сочетании с противоточным теплообменом.

**Актуальность работы** заключается в том, что при использовании специальных турбодетандерных установок на основе газорасширительных турбин теряемую энергию газа можно использовать для выработки электроэнергии.

**Детандер-генератор** используется для выработки электроэнергии в технологических установках и на газораспределительных станциях при регенерации (утилизации) энергии сжатого газа.

На ГРС технически возможно и целесообразно получать электрическую энергию с возвратом ее в существующую электрическую сеть, используя специальные турбодетандерные агрегаты (ДГА) на базе газорасширительных турбин. Поток газа по байпасной линии предлагается направить непосредственно на рабочие органы привода электрического генератора. Роль автоматического клапана при этом может выполнить

электроника, следя за давлением газа с большой точностью «после себя», т.е. после расширения на рабочих органах привода, в выходной трубе потребителю. Учитывая объемы газа, проходившего через ГРС, а это порядка от 10 до 200 тыс. м<sup>3</sup>/ч, нетрудно представить масштабы получения дополнительной электроэнергии. Однако при охлаждении газа, сопутствующего расширению, возникает опасность возникновения гидратов, поэтому в данном случае необходимо подогревать газ перед входом в расширительную машину.

Агрегаты устанавливаются преимущественно на байпасных линиях так, чтобы не быть помехой основному технологическому процессу. Где необходимо, перед агрегатом устанавливаются спецфильтр, подогреватель газа, редукционный клапан.

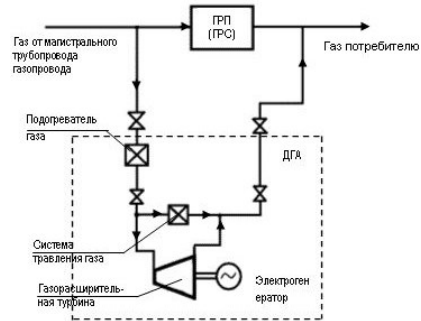
**Конечной целью** является создание изделия, объединяющего функции регулятора давления, источника энергии и счетчика расхода газа, поскольку для этого достаточно одного инструмента – турбины и одного агрегата – турбодетандерной установки.

Наряду с этим предлагается еще и подключить к этому электронному инструменту управление одоризацией газа на ГРС в зависимости от показателей органолептических датчиков, призванных удерживать одоризацию газа в установленных пределах.

В целях дальнейшего развития установок, особенно крупных, упрощения конструкции предлагается ввести гидropередачу между расширительной машиной и генератором, что позволит разместить генератор отдельно от расширительной машины, вывести его из взрывоопасной зоны. Также обороты генератора можно будет легко стабилизировать и регулировать вне зависимости от изменений оборотов расширительной машины. Это позволяет подключать серийные генераторы электрического тока, например сварочные, и имеет еще ряд других преимуществ.

При условиях веерного отключения электроэнергии добыча электричества при помощи расширения газа – очень хороший способ для локальных потребителей, например монтажных организаций, или малых предприятий.

**Выводы.** В России подготовлена база для мощного разворачивания повсеместной утилизации энергии сжатого природного газа на установ-



**Схема газораспределительного комплекса ГРС с ДГА**

ках мощностью от 1 кВт до 30 МВт. Для воплощения идеи задействованы передовые предприятия различных отраслей. Есть положительные примеры использования действующих технологий. Однако недостаточно широко освещается эта сторона энергетики, нет нормативной базы разработки и применения установок. Нет серийных установок, хотя, как показывают проведенные целевые работы, пунктов для эффективного применения установок выявлено очень много, и это только начало. Требуется работа по решению проблемы электроснабжения в случае отключения электроэнергии или там, где ее нет совсем. Очевидно, решать проблему с помощью традиционных дизельных электростанций экономически нецелесообразно. А рядом у нас «океан» подземной энергии. Надо выполнить необходимую проектную документацию, которая позволит понять, что сегодня есть все предпосылки, включая экономические, оперативно решить любые задачи, связанные с утилизацией энергии сжатого природного газа.

#### **Список литературы**

1. Вержичинская, С. В. Химия и технология нефти и газа: учебное пособие / С. В. Вержичинская, Н. Г. Дигуров, С. А. Синицин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М., 2007. – 400 с.
2. Мальханов, О. В. Разработка технологических схем и методов расчетов энергосберегающих турбодетандерных установок: дис. ... канд. техн. наук / О. В. Мальханов. – М.: МГОУ 2009. -196 с.

УДК 612.766

**Афанасьева Екатерина Валерьевна,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов,  
гр. ЭТМ-31

Научный руководитель **Капустин Александр Валерьевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

### **ПОДБОР ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ ДЛЯ РЕДУКТОРА ПРИВОДА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Цель** – разработать кинематическую схему редуктора и подобрать число зубьев привода тазобедренного сустава экзоскелета медицинского назначения.

Экзоскелет медицинского назначения – это механизированный комплекс, который повторяет локомоторные движения человека по заданной команде.

Особенность экзоскелета медицинского назначения состоит в том, что управление локомоциями происходит исключительно системой управления экзоскелета, а не человеком. Для приведения в движение соответствующих звеньев необходимо разработать тазобедренный привод, который обеспечивал бы заданные движения.

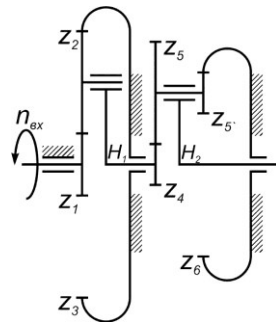
Входными данными для решения задачи синтеза кинематической схемы являются передаточное отношение и максимальный крутящий момент на выходном валу привода.

Согласно результатам проведенных исследований [1], крутящий момент в тазобедренном суставе зависит от положения бедра, локомоторной функции и массы.

Для решения поставленной задачи будем ориентироваться на максимальный крутящий момент  $M_k = 160 \dots 190 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Передаточное отношение  $i_{ред} = 94 \dots 100$ .

Для обеспечения передаточного отношения выберем двухступенчатую схему с двумя планетарными редукторами.

Для первой ступени примем структурную схему однорядного планетарного механизма (редуктор Джеймса) с интервалом передаточного отношения  $i_1 = 2,8 \dots 8$ , КПД  $0,99 \dots 0,97$ . Для второй ступени – двурядный планетарный механизм со смешанным зацеплением, обеспечивающим рациональное передаточное отношение в диапазоне  $i_{II} = 1 \dots 25$  при КПД  $0,96$  (см. рисунок).



**Структурная схема двухступенчатого планетарного редуктора**

В таблице MSExcel вычислим возможные сочетания передаточных чисел для двух ступеней редуктора исходя из общего передаточного отношения:  $i_{ред} = i_1 \cdot i_{II}$ . Для сочетаний будем отдавать предпочтения комбинациям с целочисленным результатом или с результатом до десятых.

В результате анализа наибольшее число пригодных сочетаний получилось для передаточного отношения  $i_{ред} = 99$ . Ряд сочетаний:  $3 \times 33$ ;  $3,3 \times 30$ ;  $3,6 \times 27,5$ ;  $4 \times 24,75$ ;  $4,5 \times 22$ ;  $5 \times 19,8$ ;  $5,5 \times 18$ ;  $6 \times 16,5$ ;  $6,6 \times 15$ ;  $7,2 \times 13,75$ ;  $7,5 \times 13,2$ .

Запишем систему уравнений для подбора чисел зубьев первой ступени редуктора. Для этого будем использовать условие соосности и

формулу передаточного отношения. Будем считать, что модули всех зубчатых колёс одинаковые:

$$\begin{cases} i_1 = 1 + \frac{z_3}{z_1} \\ z_1 + 2 \cdot z_2 = z_3 \end{cases} .$$

Задавая числом зубьев сателлита  $z_2 = 14 \dots 50$  (по условию соседства и сборки), решим уравнение для целых чисел  $z_n$ . Аналогичное решение представим для второй ступени редуктора, где система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} i_{II} = 1 + \frac{z_5 \cdot z_6}{z_4 \cdot z_5} \\ z_4 + z_5 = z_6 - z_5 \end{cases} .$$

Решение систем уравнений будем проводить в таблице Excel методом перебора возможных сочетаний. Критерием наиболее пригодного сочетания станем считать:

- соблюдение максимально приближенного передаточного отношения к заданному;
- соблюдение условий соосности, сборки (симметричности) и соседства;
- наличие зубчатых колёс (сателлитов) с одинаковым числом зубьев для лучшей взаимозаменяемости и уменьшении номенклатуры.

Следует также учитывать габаритные размеры редуктора исходя из условия  $d = m \cdot z$ .

Полученная в результате вычислений наиболее подходящая комбинация зубьев представлена в таблице:

Передаточное число редуктора	
$i_{ред} = 99$	
Передаточное число первой ступени	Передаточное число второй ступени
$i_1 = 6,6$	$i_{II} = 15$
Число зубьев первой ступени	Число зубьев второй ступени
$z_1 = 20, z_2 = 46, z_3 = 112$	$z_4 = 15, z_5 = 46, z_5' = 17, z_6 = 78.$

Таким образом, нам удалось подобрать комбинацию чисел зубьев, наиболее приближенную к заданному передаточному отношению. По факту:  $i_1 = 6,6$ ;  $i_{II} = 15,07059$ ;  $i_{ред} = 99,46588$ .

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)), шифр 2017-218-09-1807, утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.*

### **Список литературы**

1. Winter, David A. Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – JOHN WILEY & SONS, INC., 2009. – 370 p.
2. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование: учеб. пособие / под ред. Г. А. Тимофеева и Н. В. Умнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 154 с.

УДК 621.85-52; 531/534

**Ахметзянова Диана Рустемовна, Волкова Мария Юрьевна,**  
специальность Строительство уникальных зданий и сооружений, гр. СУЗиС-51;  
**Алгаева Наталья Сергеевна,**  
направление Инноватика (магистратура), гр. ИНВм-21

Научный руководитель **Лоскутов Юрий Васильевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Роботизированные экзоскелеты могут улучшить повседневную жизнь большого количества людей, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата [1]. Применение таких экзоскелетов нижних конечностей, как ReWalk, Ekso, Indego позволило достигнуть значительного прогресса в восстановлении подвижности людей с травмой спинного мозга, перенесших инсульт или имеющих мышечную слабость [2]. При этом оценка риска и предотвращение падения во время передвижения системы человек-экзоскелет очень важны для контроля походки и безопасности оператора. К сожалению, эти аспекты все еще не имеют системного и количественного подхода к решению.

**Актуальность исследования** обусловлена необходимостью решения проблемы стабильно устойчивого передвижения большого человека в экзоскелете.

**Цель работы** – дать обзор методов и средств обеспечения устойчивости баланса системы человек-экзоскелет при ходьбе по горизонтальной поверхности, адаптируемых к различным параметрам местности и походки, а также к увеличенному диапазону скоростей и большей длине шага.

При разработке системы управления экзоскелетом необходимо задать законы движения и устранить ненужные (лишние) движения.

Экзоскелет должен включать соответствующие датчики и механизмы, реагирующие на действия и положения тела в пространстве с учетом правильных локомоций и обеспечения устойчивости равновесия человека [3]. Разрабатываемые алгоритмы управления экзоскелетом должны быть способны «чувствовать» и «предсказывать» поведение человека, исключая рассинхронизацию действий, которая может привести к серьезным нарушениям здоровья.

В настоящее время сохранение баланса во время роботизированной походки остается сложной задачей. Пользователь часто полагается на дополнительные устройства для улучшения устойчивости. Например, было предусмотрено использование [2]:

- мощного тяжелого экзоскелета, интегрированного с передвижной мобильной платформой для обеспечения равновесия во время ходьбы;
- подвесной системы на тросах, прилепленной к подвижной талии или системе Тредмил (рис. 1);
- помощи ассистентов, вручную поддерживающих пациента в экзоскелете;
- костылей или ходунков (рис. 1).



Рис. 1. Использование вспомогательных устройств обеспечения баланса

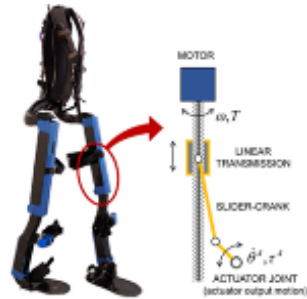


Рис. 2. Конструкция экзоскелета с гибридным приводом

Последние два способа, обеспечивая большую мобильность пациента, все же далеки от идеальных решений. Сокращается возможность использования рук пользователем, ограничивается достижимая скорость ходьбы, требуется значительная сила рук и плечевого пояса во время ходьбы и стояния. Это утомляет пациента и ассистентов. Использование костылей часто несовместимо с окружающей средой.

Недавно исследователи приступили к анализу стабильности баланса для людей, носящих экзоскелеты без костылей [2, 4, 5]. Предложена конструкция экзоскелета с гибридным приводом, в котором сочетание

пневматических мышц и электродвигателей используется для обеспечения достаточного крутящего момента и управляемости, чтобы балансировать без костылей (рис. 2).

В названных исследованиях анализ был сосредоточен только на роботизированной системе, исключая человеческий компонент. Предложена и апробирована для использования конструкция роботизированного экзоскелета с механизмом стабилизации баланса, что требует дальнейшего совершенствования для управления значительными сдвигами массы тела во фронтальной плоскости [4]. Разработаны методы контроля для обеспечения активной походки в сагитальной и фронтальной плоскостях для экзоскелета MINDWALKER, а его устойчивая ходьба без костылей была продемонстрирована для здоровых (не для парализованных) людей [5].

Критерии устойчивости баланса человека и робота, основанные на концепции захвата и экстраполяции общего центра масс системы, использованы для автоматизированного контроля и восстановления равновесия против скользящих возмущений и толчков [4]. В этих исследованиях также были рассмотрены здоровые субъекты, обладающие чувством равновесия и подвижностью.

Был предложен гибридный регулятор нулевой динамики для автоматизированной походки. Нижняя часть тела человека и экзоскелет рассматривались как сосредоточенное твердое тело при отсутствии возмущений от движения ног [2]. Там же предложена усовершенствованная модель экзоскелета, которая обеспечивала равновесие путем добавления в каждом суставе пружинно-масс-демпферных систем с параметрами, полученным путем оптимизации на основе данных экспериментов.

**Выводы.** Таким образом, в работе приведен обзор методов и средств обеспечения устойчивости баланса системы человек-экзоскелет при ходьбе по горизонтальной поверхности.

Выявлено, что не существует общеприменимых и всеобъемлющих методов анализа устойчивости баланса движения с помощью роботизированных экзоскелетов. Трудность частично возникает из-за проблем определения балансировки против падения в целом для шагающих систем, сложности моделирования привода и многообразия динамики комбинированной системы пациент-экзоскелет, обладающей неуравновешенной массой и нестабильным центром тяжести.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)*, шифр 2017-218-09-1807, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.



### Список литературы

1. Биомехатронный комплекс нейрореабилитации – концепция, конструкция, модели и управление / В. Е. Павловский [и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2014. – № 111. – 19 с.
2. Stability of Mina v2 for Robot-Assisted Balance and Locomotion / C. Mummolo, W. Peng, Sh. Agarwal, R. Griffin, Peter D. Neuhau, J. H. Kim // *Frontiers in Neurorobotics*. – October 2018. – V. 12, A. 62. – 16 p.
3. Схемные решения системы управления реабилитационным экзоскелетом медицинского назначения / А. В. Капустин, Ю. В. Лоскутов, Д. В. Скворцов [и др.] // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2018. – № 2 (38). – С. 77-86.
4. Изучение управляемого движения экзоскелета во фронтальной плоскости в режиме восстановления равновесия / С. Ф. Яцун, С. И. Савин, А. С. Яцун [и др.] // *Экстремальная робототехника*. – 2016. – Т. 1. № 1. – С. 236-245.
5. Statically vs dynamically balanced gait: Analysis of a robotic exoskeleton compared with a human // G. Barbareschi, R. Richards, C. Holloway [и др.] // *37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS)*, August 2015, 2015. – 4 p.

УДК 697.1

**Бажина Анастасия Алексеевна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ТТм-21

Научный руководитель **Горин Юри́й Арка́дьевич,**

доцент кафедры энергообеспечения предприятий

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗДАНИЙ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ**

**Цель** – разработка системы теплоснабжения промышленных объектов с учетом аккумулирующей способности зданий.

**Актуальность исследования.** Значимым компонентом инфраструктуры жизнеобеспечения промышленных и гражданских объектов считается централизованное водяное теплоснабжение. В наше время на нужды теплоснабжения в Российской Федерации расходуется более трети всего добываемого топлива. Состояние теплоснабжения в стране нельзя признать удовлетворительным, поскольку около 50 % объектов коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требуют замены, не менее 15 % находятся в аварийном состоянии, при этом 30 % достигают

потери теплоты в водяных тепловых сетях. В сложившихся условиях системы теплоснабжения и способы регулирования отпуска теплоты часто не обеспечивают потребителей необходимым количеством тепловой энергии, приводя к нарушениям гидравлического режима тепловой сети. В связи с этим актуальным становятся поиск и разработка новых систем снабжения теплотой и способов регулирования ее отпуска на основе комплекса технических, организационных и технологических решений [1].

Обширное распространение в российском теплоснабжении получило качественное регулирование тепловой нагрузки, при котором расход сетевой воды в тепловой сети остается неизменным, а тепловая нагрузка меняется в зависимости от температуры сетевой воды в подающей магистрали, не обеспечивая на протяжении всего отопительного сезона подачи требуемого количества теплоты [2].

Для снабжения потребителей в течение всего отопительного периода требуемым ее количеством, предлагается система обеспечения тепловой энергией промышленных объектов с учетом аккумулирующей способности зданий.

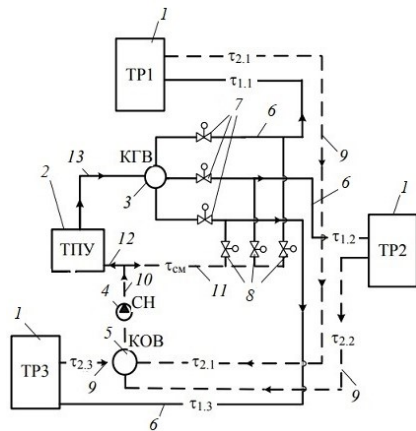
**Задачи** предлагаемой системы:

- снижение энергозатрат за счет теплоаккумулирующей способности здания;
- стабилизация теплогидравлического режима в тепловых магистралях;
- обеспечение потребителей требуемой теплотой в течение отопительного сезона.

На рисунке ниже представлена схема снабжения теплотой.

На схеме изображены теплоснабжающие районы 1, для которых вырабатывается тепловая энергия на теплоприготовительной установке 2, коллектор горячей воды 3, сетевой насос 4, коллектор охлажденной воды 5, где смешивают возвращающийся теплоноситель. Для переключения потоков теплоты в трубопроводы горячей воды 6 предназначена запорная арматура 7 и 8.

Охлажденную воду по трубопроводам 9 направляют в коллек-



**Схема снабжения теплотой**

тор охлажденной воды, а сетевой насос по трубопроводу 10 подает часть охлажденного и смешанного теплоносителя в коллектор охлажденной воды по трубопроводу 11 в трубопроводы горячей воды 6, часть по трубопроводу 12 в теплоприготовительную установку и далее по 13 в коллектор горячей воды и в трубопровод горячей воды для одного из теплообогреваемых районов.

Каждому из районов периодически подается теплоноситель с повышенным температурным потенциалом из теплоприготовительной установки 2. В один из теплоснабжающих районов 1 в течение первого расчетного периода по трубопроводу 6 подают тепловой поток от теплоприготовительной установки, расход и температура теплоносителя поддерживаются постоянными. По остальным трубопроводам горячей воды для двух других теплоснабжающих районов направляют сетевую воду из коллектора охлажденной воды 5 по обводному трубопроводу 11.

В первом районе наступает период «натопа», во втором и третьем – период «остывания». По истечении первого расчетного периода происходит переключение запорной арматуры 6 и 7.

В следующий расчетный период во второй район поступает теплоноситель от теплоприготовительной установки, который разогревает отапливаемые помещения, а в первый и третий районы в течение второго расчетного периода поступает теплоноситель из коллектора 5. В этот период в третий район продолжает поступать теплоноситель с температурой смеси, в конце второго расчетного периода температура внутреннего воздуха помещений в теплоснабжаемых районах понизится, при этом понизится до минимума температура обратной воды. Это служит сигналом для переключения запорной арматуры 7 и 8 и подачи горячего теплоносителя от теплоприготовительной установки в третий район.

Наступает третий расчетный период (период «натопа» в третьем районе), по завершении которого горячий теплоноситель вновь подают в первый теплоснабжающий район. В результате происходит периодическое повышение и понижение температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах каждой из магистралей, что приводит к изменению от максимального до минимального значений температуры внутреннего воздуха [3].

Изменение внутренней температуры воздуха в основном зависит от массивности зданий. Ограждающие конструкции зданий имеют способность аккумулировать тепловую энергию в толще ограждения, а затем отчасти отдавать наружу и внутрь помещения [4].

В управлении процессом регулирования подачи теплоты с учетом аккумулирующей способности здания в зависимости от температуры наружного воздуха необходимо сначала определить температуру внут-

ренного воздуха, которая установится в помещении после изменения теплового режима, затем промежуток времени, в течение которого она понизится до минимально допустимых значений, и температуру теплоносителя после смешивания в коллекторе.

**Вывод.** Данная система снабжения тепловой энергией потребителей обеспечивает постоянство расхода теплоносителя, поступающего во все тепломагистралы, что создает стабильный гидравлический режим в системе теплоснабжения.

#### **Список литературы**

1. Яновский, Ф. Б. Энергетическая стратегия и развитие теплоснабжения России / Ф. Б. Яновский, С. А. Михайлов // Тепловодоснабжение. – 2003. – № 6. – С. 26-29.
2. А.с. № 2006146325/03(050597). Способ снабжения тепловой энергией потребителей в централизованных системах / В. А. Стерлигов, Т. Г. Мануковская, В. В. Логинов, О. Н. Ермаков, Е. М. Крамченков.
3. Соколов, Е. А. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. - 360 с.
4. Дроздов, В. Ф. Отопление и вентиляция: в 2 ч. Ч. 1: Отопление / В. Ф. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1976. – 280 с.

УДК 658.5:629.331

**Белякова Алёна Игоревна,**

направление Управление качеством (магистратура), гр. ЭМУК-13м

Научный руководитель **Голкина Виктория Александровна,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой управления качеством  
*ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»,  
г. Ярославль*

### **ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Цель работы** – рассмотреть технологию 3D-печати и отразить положительные стороны применения аддитивных технологий в проектировании и производстве.

В настоящее время имеется множество ГОСТов в части разработки продукции, поставленных на производство. Все они сводятся к составлению некоего плана-графика выполнения работ, с важным утверждением у того или иного владельца процесса. Все это в итоге влияет на качество конечного изделия, но при этом ошибки, которые возникают, в

результате выявляются непосредственно у потребителя. В то же время 80 % всех отказов (дефектов) связаны с конструкцией.

При планировании производства новой продукции чаще всего используют APQP – календарный график планирования качества продукции [1].

Зачастую при таком полномасштабном развернутом планировании и реализации проекта нового транспортного средства или изготовления его компонента уходит по времени от 14 до 48 месяцев. И после запуска в производство требуется последующая доработка конструктива и изготовление новых компонентов. При этом идёт накопление DFMEA, PFMEA, чертежей с различными индексами после доработки, специальные характеристики, планы управления и т. д.

Использование же программ по созданию 3D-моделей позволит конструктору-разработчику увидеть ее во всех плоскостях, а дополнительно используя программы сборки, видеть не только деталь, но и ее взаимодействие с другими компонентами. Однако при этом конструктор опирается на расчетные характеристики параметра своего изделия, которые впоследствии войдут в DFMEA.

Наряду с программами, применение 3D-принтера и печать детали позволит еще на этапе планирования и разработки продукции выявлять возможные отклонения, которые не вошли в DFMEA, и скорректировать DFMEA, избежав при этом затратную корректировку программы производства. Представленная технология даст возможность уже на данном этапе отработать будущий метод обработки и сборки отдельных компонентов, что может в значительной степени сказаться на стоимости изделия. Применение 3D-сканирования и технологий виртуальной реальности позволит дополнять модели различными деталями и компонентами, не прибегая к реализации их масштабных моделей.

**Широчайшие возможности 3D-сканирования в проектировании и производстве, решаемые задачи:**

- реверс-инжиниринг (обратное проектирование);
- контроль отклонения геометрии;
- инженерные изыскания;
- архивирование данных;
- подготовка для визуализации объектов;
- создание сувенирной продукции.

3D-сканер – помощник на всех этапах управления жизненным циклом продукта, применения сканирования на этапах создания продукта.

3D-сканирование – наиболее передовой способ перевода физического объекта в цифровой формат, который помогает существенно оптими-

зировать производственный процесс. Современные 3D-сканеры способны оцифровывать самые разные объекты – от миниатюрных деталей до зданий и сооружений. На основе данных 3D-сканирования в специализированном программном обеспечении создается 3D-модель физического объекта для ее последующего использования в системах CAD/CAM/CAE [2].

Снижение производственных расходов, экономия времени и людских ресурсов – таковы основные выгоды 3D-печати, за счет которых предприятия могут получить весомый экономический эффект. В сравнении с традиционными технологиями, аддитивное производство позволяет в разы сократить сроки изготовления и упростить технологический процесс. Важное преимущество аддитивных технологий — возможность получить результаты, которые недоступны при классических способах производства.

На 3D-принтерах можно печатать уникальные изделия сложнейших форм и фактур, легко внося конструктивные изменения в 3D-модели на любом этапе работы.

Учитывая статистику (рис. 1) внедрения и применения технологий 3D, можно сказать, что это – будущее в производстве.



Рис. 1. Статистика внедрения 3D-технологий

Отличным дополнением технологии 3D-печати и 3D-сканирования на предприятии будет использование в проектировании и сервисном обслуживании информационной поддержки на основе виртуальной и дополненной реальности.

Виртуальная реальность – искусственно создаваемый смоделированный компьютерный (виртуальный) мир, в который погружается человек.

Дополненная реальность – технология частичного внедрения в реальную жизнь виртуальной информации, которая воспринимается как элементы реальной жизни.

Международный опыт использования технологий дополненной и виртуальной реальности в производстве, техническом обслуживании и

ремонте присутствует у таких компаний, как BMW, Shell, TOYOTA, крп. Компании используют комплекс информационной поддержки (КИП), который включает в себя совокупность специализированных средств (устройств), программного обеспечения (ПО) и информационно-технической базы данных, используемых для выполнения операций, структуру (рис. 2) и схему работы (рис. 3).



Рис. 2. Структура комплекса информационной поддержки

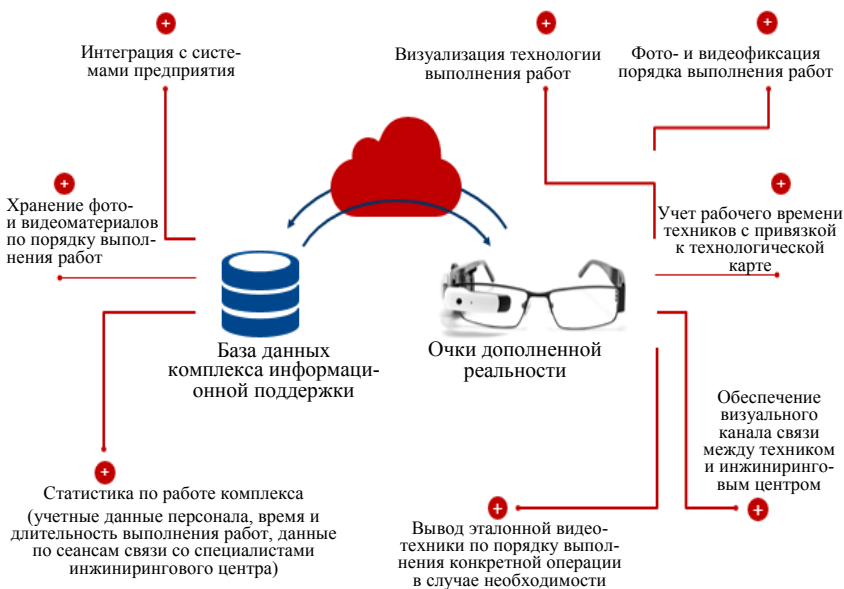


Рис. 3. Схема работы КИП

**Практическое применение комплекса информационной поддержки** было протестировано на ПАО «Автодизель» (ЯМЗ) на примере осуществления процесса:

- замены термостатов при помощи функции «Удаленный эксперт» комплекса информационной поддержки ТООР;

- замены фильтра сменного для масла при помощи функции «Технологическая карта» комплекса информационной поддержки ТООР.

**Выводы.** Технологии 3D-печати и 3D-сканирования продолжают стремительно развиваться и становятся доступнее буквально на наших глазах. Улучшаются производительность, надежность и удобство принтеров и сканеров, разрабатываются новые материалы для аддитивного производства.

Эти и многие другие преимущества позволят постепенно минимизировать недостатки 3D-технологий, в первую очередь высокую стоимость оборудования и расходных материалов. 3D-технологии будут все глубже внедряться в производственный цикл классических производств, значительно экономя время и средства. Все это позволит предприятиям задействовать совершенно новые, гораздо более выгодные бизнес-модели, которые станут определяющими в эпоху Индустрии 4.0.

#### **Список литературы**

1. APQP– перспективное планирование качества продукции и план управления: ссылочное руководство / Е. Г. Воинова, А. В. Глазунов, Е. П. Кочетков [и др.]. – Нижний Новгород: Изд-во ООО СМЦ «Приоритет», 2010. – С. 45.

2. 3D-технологии для промышленности бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.iqb-tech.ru/hubfs/showcases/3D-technologies-for-industry-and-business-iQB.pdf?submissionGuid=1b4c8d89-8126-4418-9cf1-4545c399be7c> (дата обращения 10.09.2018).

УДК 621

**Васенева Наталья Андреевна,**

направление Материаловедение и технологии материалов (магистратура),  
гр. МТМ-11

Научный руководитель **Крашенинникова Надежда Геннадьевна,**  
канд. физ.- мат. наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Гальванические покрытия широко применяются в машиностроении уже много лет. Они могут наноситься с целью повышения твердости,



износостойкости, защиты деталей от коррозии, придания изделиям красивого внешнего вида.

Одним из широко применяемых антикоррозионных покрытий является цинкование с последующим хромированием. Нанесение качественного покрытия оказывается непростой задачей, требует тщательной подготовки поверхности изделия, аккуратной разработки технологического процесса и неукоснительного его соблюдения.

Контроль качества покрытия осуществляется по ГОСТ 9.302.

**Методика и результаты исследования.** Исследования проводили на детали «Закладная» из стали 40ХН (см. рисунок), на которую нанесено цинковое покрытие с последующим хромированием по разработанной технологии.

1. *Контроль толщины покрытия* осуществляется методом капли. На поверхность детали нанесли каплю раствора сульфата меди (концентрация 100 г/л), выдержали 60 с, затем удалили с помощью фильтрованной бумаги. Вторую каплю нанесли в ту же точку, повторяли этот процесс до полного растворения покрытия. При полученном числе капель (9) толщина покрытия на исследованной детали составляет



Закладная деталь

$$H = H_k(n - 0,5) = 6 \text{ мкм.}$$

В использованной формуле  $H_k = 0,715$  мкм – табличная величина, для температуры испытаний (23 °С).

Таким образом, полученная толщина покрытия (6 мкм) соответствует требованиям к покрытию марки Ц6.хр.

2. Для *определения пористости покрытия* на деталь наложили фильтрованную бумагу смоченную раствором, имеющим состав: калий железосинеродистый 3 г/дм<sup>3</sup>, хлорид натрия 10 г/дм<sup>3</sup>, так чтобы между бумагой и поверхностью детали не было пузырьков воздуха, выдержали 5 минут. Затем бумагу с отпечатками пор в виде темных точек промыли дистиллированной водой, просушили, после чего подсчитали число пор, приходящееся на единицу площади поверхности:

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{общ}}}{S},$$

где  $N_{\text{общ}}$  – число пор на контролируемой поверхности;

$S$  – площадь контролируемой поверхности.

Исследованное покрытие содержит 1,3 пор/см<sup>2</sup>.

3. *Контроль прочности сцепления* проводился методом изменения температур.

Деталь выдержали в печи при температуре 190 °С в течение 15 минут и быстро охладили в воде с температурой 18 °С. Вздутый, отслоений покрытия, пузырей на поверхности детали не выявлено, что свидетельствует о хорошей адгезии покрытия к поверхности детали.

**Вывод.** Таким образом, исследованное покрытие по всем параметрам соответствует предъявляемым к нему требованиям, из чего можно заключить, что разработанный технологический процесс обеспечивает получение качественного покрытия.

#### **Список литературы**

1. Ямпольский, А. М. Краткий справочник гальванотехника / А. М. Ямпольский, В. А. Ильин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние. 1981. – 269 с.

2. ГОСТ 9.302-88 Межгосударственный стандарт. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 37 с.

УДК 629.11.012.5

**Васенин Виталий Николаевич,**

направление Агроинженерия (магистратура), гр. АИМ-11

Научный руководитель **Костромин Денис Владимирович,**

канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## **НОВЫЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЕ ШИРОКОПРОФИЛЬНЫЕ ШИНЫ**

**Введение.** Специальные лесные машины работают в сложных природных и климатических условиях. При валке леса невозможно обойтись без специальной техники. Однако техника будет бесполезна, если не «обуть» ее в подходящие шины. Лесные шины незаменимы в условиях плохой проходимости. Они разработаны специально для автолесовозной техники: форвардеров, харвестеров, сортиментовозов, лесовозов. Машины таких известных фирм, как «Гимберджек», «Валмет», «Понсе» охотно покупаются российскими лесозаготовителями для сортиментовозной лесозаготовки древесины. Данные машины чаще всего используют дизельное топливо, и им необходимы колеса с хорошим сцеплением с дорогой [3].

Колесные лесозаготовительные машины работают в специфических дорожных условиях, не свойственных другим транспортным машинам. К этим условиям следует отнести прежде всего работу на твердых дорогах, а в летнее время на грунтовых поверхностях с низкой несущей способностью и соблюдением соответствующих экологических требований. В зимнее время лесозаготовительные машины должны успешно преодолевать снежную целину толщиной не менее 1 м. При этом лесозаготовительная машина, двигаясь по лесосеке порожнем или с пачкой древесины, преодолевает препятствия в виде поваленных деревьев, пней, острых сучьев, порубочных остатков.

**Цель работы** – сравнение двух типов лесопромышленных широкопрофильных шин.

#### **Материал и методика исследований**

Для выбора наиболее подходящих шин для лесных машин были изучены их конструкции. Для испытания были выбраны шины: 700/50 – 26,5 мод. Я-624 и 1300 – 750 мод. Я-592, предназначенные для tandemных тележек лесозаготовительных машин типа 6К6 и 8К8.

Лесопромышленная широкопрофильная шина 700/50 – 26,5 мод. Я-624 соответствует международным стандартам. Она изготавливается в камерном исполнении. Ее каркас диагональной конструкции выполнен из высокопрочных кордных материалов, подстилающей беговую дорожку шины, брекерный пояс изготовлен из металлокорда со способностью к повышенному удлинению и хорошо воспринимает сосредоточенные на небольшой площади беговой дорожки шины пиковые нагрузки. С целью облегчения монтажа шины на полки обода колеса раствор бортов шины выполнен несколько меньшим ширины обода. Шина 700/50 – 26,5 мод. Я-624 имеет более массивные грунтозацепы, что увеличивает запас прочности шины по обрывам грунтозацепов при их контакте с пнями и порубочными остатками. Для лучшей самоочищаемости при движении по деформирующимся грунтам шина 700/50 – 26,5 мод. Я-624 имеет увеличенный радиус кривизны беговой дорожки. Конструкция этой шины позволяет работать в широком интервале вертикальных нагрузок и внутренних давлений воздуха. Эксплуатационные испытания лесопромышленных шин 700/50 – 26,5 мод. Я-624, проведенные на сортиментовозах «Тимберджек 1010» и сортиментовозах МЛ-131, показали, что указанные шины обеспечивают высокие тягово-сцепные свойства и гарантируют стабильную работу лесотранспортных машин в сезоны, для которых характерна низкая несущая способность лесных грунтов [2].

Лесопромышленная шина 1300-750 мод. Я-592 предназначена для особо тяжелых грунтовых условий. Она также изготавливается в камерном исполнении, имеет арочный профиль, что обеспечивает возмож-

ность эксплуатации при пониженном внутреннем давлении, высокую сопротивляемость пробоям и хорошую самоочищаемость протектора за счет мембранного эффекта. Каркас шины выполнен из высокопрочных кордных материалов, а брекер состоит из двух слоев металлокорда. Эксплуатационные испытания показали высокую надежность, ходимость и высокие тягово-сцепные свойства шины 1300-750 мод. Я-592. Для облегчения монтажно-демонтажных работ для этой шины разработано колесо с разъемным в продольной плоскости ободом и специальным устройством. Конструкция этой шины спроектирована таким образом, что позволяет им работать в широком интервале вертикальных нагрузок и внутренних давлений воздуха [1].

**Результаты исследований.** Подводя итог вышесказанному, можно выделить целый ряд требований технической характеристики шин лесных машин, главными из которых следует считать хорошие тягово-сцепные свойства в сочетании с пониженным воздействием движителей на почву и достаточно высокую механическую прочность с хорошей способностью противостоять сосредоточенным нагрузкам. Сравнительные характеристики лесопромышленных шин 700/50 – 26,5 мод. Я-624 и 1300-750 мод. Я-592.

В результате проведенных исследований можно сделать соответствующие **выводы**:

1. Для обеспечения лесным шинам уверенного сцепления применили жесткую радиальную конструкцию в сочетании с обеспечением широкой площади контакта покрышки с рабочей поверхностью.

2. Широкая площадь шин позволяет уменьшать давление на мягкую лесную почву, тем самым не только снижая риски пробуксовки, но и увеличивая их экологическую эффективность – не нарушается лесной покров: почвы и подлесок. Устойчивость лесной техники с такими шинами выше, что дает меньше вибрации и делает работу людей с такой техникой более комфортной [3].

3. Шины для лесной техники оснащены специальными грунтозацепными ребрами, дизайн которых призван сохранять землю в лесу и быстро самоочищать колеса от излишков грунта, что дает дополнительную степень устойчивости.

4. Снижение рисков повреждения шины, что стало возможным благодаря использованию специальных защитных боковин и неравномерного рисунка шинного профиля, влияющего на боковое сцепление.

#### **Список литературы**

1. Роголюк, Л. А. Новая лесопромышленная широкопрофильная шина / Л. А. Роголюк // Лесная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 34-35.

2. Роголюк, Л. А. Лесопромышленные широкопрофильные шины 600/55-26,5 / Л. А. Роголюк // Лесная промышленность. – 2016. – № 4. – С. 21.
3. Колеса и шины: краткий справочник. Вып. 5. – М.: За рулем, 2002. – 122 с.

УДК 538.945

**Волкова Екатерина Геннадьевна,**

направление Материаловедение и технологии материалов (магистратура),  
гр. МТМм-11

Научный руководитель **Алибеков Сергей Якубович,**

д-р техн. наук, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## **СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРОНИКЕ**

*Сверхпроводимостью* называют эффект внезапного скачкообразного исчезновения электрического сопротивления постоянному электрическому току проводящего материала во время охлаждения до критической температуры сверхпроводимости. Данное охлаждение происходит при сжижении газов.

Эффект сверхпроводимости присутствует практически у половины элементов таблицы Менделеева. Также сплавы, интерметаллические соединения и химические соединения относятся к классу сверхпроводящих материалов.

Существуют сверхпроводящие керамические материалы, которые состоят из сложных химических соединений на основе редкоземельных металлов. Они являются сверхпроводниками даже при высоких температурах. К ним относятся материалы  $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_4$  ( $T_{\text{сп}} = 36 \text{ K}$ ),  $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Cu}_y\text{O}_{3-y}$  ( $T_{\text{сп}} = 56 \text{ K}$ ),  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$  ( $T_{\text{сп}} = 82 \text{ K}$ ).

Именно сверхпроводящие материалы открыли новую область электроники – *криоэлектроники* (электроники низких температур). К криоэлектронным приборам относятся запоминающие и логические устройства вычислительной техники и криотронные переключатели, приборы СВЧ техники, измерительные приборы и датчики, сверхпроводящие магнитометры, гальванометры, болометры.

Недостатком при эксплуатации данных приборов является необходимость охлаждения до низких температур. В основном криоэлектронные приборы используют в стационарной наземной аппаратуре и космической технике.

На данный момент сверхпроводники применяют в различных областях. Для различных материалов – пленочные проводники, сверхпроводящие магниты. В микротехнике присутствуют в микроволновых устройствах, цифровой электронике и искусственных биологических системах. В макротехнике – в силовых кабелях, электрических системах, генераторах и двигателях.

В силовой отрасли сверхпроводники снижают энергопотери и сокращают массогабаритные показатели оборудования.

При правильном использовании физических свойств проводников, материалы можно удерживать в воздухе, а также передвигать их.

В будущем сверхпроводниковые материалы будут широко применяться в энергетике, промышленности, транспорте, а также в медицине и электронике. Помимо замены традиционного оборудования на сверхпроводящее произойдут изменения в структурном характере, появятся совершенно новые технологии.

*Комнатная сверхпроводимость* является одной из самых перспективных. Возможность существования сверхпроводимости при комнатной температуре и выше обосновали лауреат Нобелевской премии В. Л. Гинзбург и У. Литтл. Проблема создания комнатнотемпературных сверхпроводников является на настоящий момент одной из главных.

В электронике сверхпроводимость появится в новых компьютерных технологиях, а именно в генерировании, передаче и эффективном использовании электроэнергии. Еще одно перспективное применение сверхпроводников – в генераторах тока (от мощных электростанций до обычных ветряных установок) и электродвигателях. С развитием технологий сверхпроводящие двигатели найдут широкое применение также и в самолетах и на автомобильном транспорте.

Возможность ускорения макроскопических объектов электромагнитным полем найдет свое применение также на аэродромах и космодромах, где сверхпроводящие магниты будут обеспечивать взлет/посадку воздушным судам и космическим кораблям. Рассматриваются также возможности применения сверхпроводящих магнитов для аккумулирования электроэнергии в магнитной гидродинамике и для производства термоядерной энергии.

**Вывод.** Таким образом, возможности применения сверхпроводимости в настоящее время распространяются на многие сферы жизни. В недалеком будущем сверхпроводимость станет одной из базовых составляющих технического прогресса во многих секторах экономики и будет играть важную роль в нашей повседневной жизни. Благодаря нанотехнологиям будет развиваться комнатная сверхпроводимость.

### Список литературы

1. Материаловедение и технология материалов: учебник для академического бакалавриата: в 2 ч. Часть 2 / Г. П. Фетисов [и др.]; отв. ред. Г. П. Фетисов. – 7-е изд., пер. и доп. – М.: Юрайт, 2017. – 389 с.
2. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники: учебник: в 2 т. / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. – М.: Академия, 2006. – (Высшее профессиональное образование). – Т. 1: Проводники, полупроводники, диэлектрики. – М.: Академия, 2006. – 439 с.

УДК 629.373

**Голубев Павел Сергеевич,**

направление Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств (магистратура), гр. КТМм-11

Научный руководитель **Кудрявцев Игорь Аркадиевич,**

старший научный сотрудник Управления научной и инновационной  
деятельности

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

### **ИНВАЛИДНАЯ ВЕЗДЕХОДНАЯ КОЛЯСКА С СИСТЕМОЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ И МАНЕВРЕННОСТИ**

Российский рынок мобильной медицины находится на раннем этапе развития. Согласно исследованиям компании Brookings, к 2017 году рынок мобильных технологий для здоровья в России достиг \$800 млн, или 3 % от мирового рынка.

**Цель работы** – создание доступных устройств, позволяющих обеспечить повышенную проходимость серийно выпускаемых, наиболее распространенных инвалидных колясок в условиях бездорожья (песок, размытый грунт, снег, лед) с целью повышения качества жизни людей с ограниченными возможностями здоровья.

По данным Министерства труда и социальной защиты РФ, численность инвалидов-колясочников в России составляет 320 тыс. чел. (1 группа).

Количество детей-инвалидов в возрасте до 18 лет – 605 тыс. чел. Судя по динамике, этот показатель с каждым годом увеличивается [1].

Как видим, количество людей, нуждающихся в повышении качества жизни, весьма велико. Эту потребность можно и нужно удовлетворять.

**Актуальность проекта.** Целью работы является создание линейки комплектов дооснащения для инвалидных колясок. На данный момент в продаже имеются весьма недешевые коляски с электроприводом. Недоступность их для широких кругов населения и ограниченность зон применения (город с его асфальтированными тротуарами и площадками) побуждает к созданию качественно нового продукта.

Инвалидное кресло-коляска – средство передвижения для людей, не имеющих возможности двигаться как временно (из-за болезни), так и из-за инвалидности, но способных находиться в сидячем положении [2].

Комплекты дооснащения для инвалидных колясок, включающие мотор-колеса с вертикальной осью поворота и дополнительное оборудование, решают **ряд задач**:

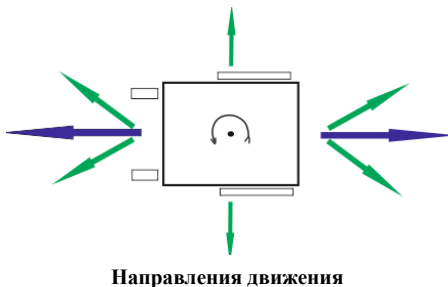
- повышение маневренности за счет поворота колеса вокруг его вертикальной оси (см. рисунок);

- применение шин с шипами и лыж, что позволяет передвигаться по заснеженным дорожкам;

- колеса сверхнизкого давления и применение приводных колес с наставками для повышения сцепных свойств и движения по размытому грунту и песку;

- возможность передвижения по льду при применении коньков;

- увеличение пробега за счет дополнительного модуля с аккумулятором или генератора, позволяющего дозарядить основной аккумулятор.



**Выводы.** Применение различных комплектов дает возможность существенно расширить рамки использования инвалидных колясок. Разные комплекты позволяют выбрать нужный вариант для конкретного человека с учетом его потребностей и возможностей.

### Список литературы

1. «Умные» устройства для пожилых людей: трость с GPS, экзоскелеты и ботинки от падений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/flood/14429-mhealth-device> (дата обращения 10.11.2018).

2. Инвалидная коляска [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвалидная\\_коляска](https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвалидная_коляска) (дата обращения 10.11.2018).



**Горбунов Кирилл Геннадьевич,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ПТСм-1-18

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Цель работы** – проведение анализа эффективности систем теплоснабжения и определение путей ее повышения.

**Актуальность.** В России всегда внутренние цены на энергию были ниже мировых, поэтому сроки окупаемости реализации энергоэффективных и энергосберегающих технологий в стране в 2-3 раза выше, чем в зарубежных странах. Но в то же время практика и статистика показывают, что интеграция дорогих и новых технологий и разработок часто просто не имеет смысла, что влечет за собой закономерное отставание в этой сфере.

В связи с этим для исследований по вопросам российской теплоэнергетики законодательное обеспечение является камнем преткновения. Большинство исследователей считает, что необходимо проработать законодательства, контролирующие и регулирующие нормативную платформу в теплоэнергетике. Следует разработать и выпустить закон о теплоснабжении, который создаст необходимые условия для развития инноваций и энергосберегающих технологий в данной сфере:

- генерация комбинированной тепловой и электрической энергии на малых ТЭС (вхождение в сеть и минимализация цены на транспортировку);

- стимулирование научных исследований и внедрения нетрадиционных источников энергии: геотермальных, солнечных, ветровых, теплонасосных генераторов;

- стимулирование работ по энергосбережению, льготы по прибыли на капиталовложения в теплоэнергетику с целью энергосбережения, что приведет к понижению удельных норм потребления;

- стимулирование научных исследований в области снижения удельных норм потребления и снижения выбросов;

- льготы по налогу на прибыль на капиталовложения в науку, энергосберегающие технологии, замену устаревшего оборудования.

На сегодняшний день недостаточное нормативно-правовое обеспечение тепловой энергетики порождает следующие проблемные зоны:

- взаимодействие с бытовыми потребителями;
- когенерация;
- безопасность теплоснабжения.

*Взаимодействие с бытовыми потребителями.*

Отсутствие нормативно-правовых актов, которые непосредственно регулируют вопросы отношения в сфере теплоэнергетики, частично компенсируется Гражданским кодексом, который по своей сути не является документом, относящимся к теплоэнергетике, и вследствие этого имеется ряд вопросов:

- Гражданский кодекс не напрямую относится к теплоснабжению, там есть раздел, относящийся к энергоснабжению, и все, что описано, относится к электроснабжению, а дальше имеется ссылка о том, что если иное не предусмотрено другими законами или соглашениями, то относится и к теплоснабжению. Возникает много неурегулированных вопросов как с потребителями, так и с организациями, поставляющими тепло и энергию, которая для наших коммунальных предприятий является покупной.

- Теплоэнергетические предприятия платят за топливо по факту получения, в соответствии с Гражданским кодексом. А компенсацию своих затрат, когда они отпускают товар потребителям, по факту поставки они не получают. Тут начинаются разные схемы. Все жилищные организации, управляющие компании стремятся расплачиваться с теплоснабженцами так, как с ними расплачивается население: 1/12 часть каждый месяц в течение года.

**Вывод.** Чтобы в будущем избежать проблем в системах теплоснабжения, необходимо создать свод законов, относящихся непосредственно к энергетике, что поможет решить ряд вопросов и урегулировать их.

#### **Список литературы**

1. Маляренко, В. А. Тенденции модернизации объектов малой энергетики на базе когенерации / В. А. Маляренко // Ползуновский вестник. – 2013. – №. 4-3. – С. 131-137.

2. Хабачев, Л. Д. Экономические методы поддержки развития объектов малой распределенной энергетики / Л. Д. Хабачев, У. И. Плоткина // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2014. – № 6 (209). – С. 26-33.

3. Седнин, В. А. К вопросу о повышении эффективности отопительных котельных и мини-ТЭЦ / В. А. Седнин, Д. М. Райко, В. М. Левин // Энергия и менеджмент. – 2015. – № 1. – С. 12-17.

УДК 620.22 + 691.175

**Граховский Алексей Александрович,**  
направление Материаловедение и технологии материалов (магистратура),  
гр. МТМм-11

Научный руководитель **Крашенинникова Надежда Геннадьевна,**  
канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ГРАДИЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

**Актуальность проблемы.** Успехи современных технологий в значительной степени определяются достижениями в области материаловедения, разработкой новых материалов, удовлетворяющих все более жестким и постоянно изменяющимся требованиям. В процессе эксплуатации поверхностные области материала и его объем находятся в разных условиях, поэтому представляется весьма перспективной новая область материаловедения – создание *градиентных материалов*, свойства которых изменяются по сечению образца.

В настоящее время создание таких материалов осуществляется постепенной послойной заливкой полимерных составов с различающимися свойствами, а также сваркой, склейкой и прочими механическими методами соединения. Создание таких конструкций является дорогостоящим процессом, требующим специального оборудования. Кроме того, в них всегда присутствуют границы раздела, являющиеся слабыми местами в конструкциях, а свойства всегда изменяются ступенчато.

В связи с этим поиск методов получения материалов с плавным изменением свойств по длине или сечению, придания материалу определённого градиента является весьма актуальным.

**Методика и результаты исследования.** Большой интерес представляют работы по созданию градиентных материалов на основе ограниченно совместимых эпоксидных олигомеров (ЭО) с использованием активных разбавителей (глицидиловых эфиров кислот фосфора (ГЭФ)) и аминных отвердителей. Необходимые функциональные свойства придавали за счет различных наполнителей.

Для получения градиентных материалов выбирали составы из области несовместимости компонентов.

В начальный момент времени система представляет собой эмульсию, в которой фазы распределены равномерно. С течением времени начинается процесс расслоения, на который воздействуют различные факторы: совместимость компонентов, вязкость, плотность фаз, поверхностные и когезионные силы.

В ходе расслоения в поперечном сечении образца формируются три области. Верхний слой насыщен частицами эмульсии ГЭФ в ЭО. Эти частицы наиболее крупные, со временем они коагулируют и образуют собственную фазу. Таким образом, верхний слой представляет собой однородный раствор ГЭФ в ЭО. Нижний слой обедняется эмульсионными частицами за счёт их всплытия и представляет собой однородный раствор ЭО в ГЭФ. В итоге нижний слой с высоким содержанием ГЭФ и низким термическим коэффициентом линейного расширения создаёт высокую адгезию покрытия к металлической подложке, а верхний слой обогащён ЭО и теми наполнителями, которые необходимы для формирования заданных функциональных свойств материала.

**Практическая значимость** работы по созданию градиентных материалов заключается в том, что, применяя различные наполнители, можно получать покрытия самого различного назначения с плавно изменяющимися по сечению свойствами: антифрикционными (с использованием в качестве наполнителя графита), антиадгезионными (с введением в композицию политетрафторэтилена), теплоизоляционными (применение стеклянных микросфер) и т.д.

**Выводы.** Градиентные материалы превосходят по всем параметрам изотропные материалы. Например, лакокрасочные покрытия обладают высокими эксплуатационными свойствами за счёт эластичности верхних слоёв, обогащённых ЭО, тормозящей зарождение, распространение и рост трещин, а высокая адгезия нижних слоёв, содержащих преимущественно ГЭФ, препятствует отслаиванию покрытия от подложки в ходе циклического нагружения.

Функционал таких покрытий разнообразен и зависит от применяемых наполнителей.

Исходя из вышесказанного, можно говорить о целесообразности проведения дальнейших исследований в области разработки новых видов и способов получения градиентных материалов.

### Список литературы

1. Изучение процесса расслоения ограниченно совместимых олигомеров при получении градиентных полимерных материалов / К. А. Андрианова, В. В. Рыбаков, Л. М. Амирова, И. Н. Сидоров // Материаловедение. – 2011. – № 5. – С. 12-17.

2. Андрианова, К. А. Функциональные градиентные покрытия на основе саморасплаивающихся составов / К. А. Андрианова, В. В. Рыбаков, Л. М. Амирова // *Материалы Тридцать первой ежегодной международной конференции «Композиционные материалы в промышленности» (СЛАВПОЛИКОМ)*. – Ялта, 2011. – С. 77-79.

3. Андрианова, К. А. Изучение структуры и свойств градиентных полимерных материалов / К. А. Андрианова, Л. М. Амирова, И. Н. Сидоров // *Всерос. конф. «Структура и динамика молекулярных систем»: сб. статей*. – Йошкар-Ола – Уфа, Казань – Москва, 2001. – С. 181-184.

4. Аскадский, А. А. Градиентные разномодульные полимерные материалы / А. А. Аскадский, Л. М. Голенева, К. А. Бычко // *Высокомолекулярные соединения*. – 1995. – Т. 37, № 5. – С. 829-841.

5. Функциональные градиентные покрытия специального назначения / В. В. Рыбаков, К. А. Андрианова, Р. Р. Амиров, Л. М. Амирова // *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики АНТЭ-2009: материалы V Всероссийской научно-технической конференции*. Т. 2. – Казань, 2009. – С. 268-270.

УДК 621.311.22

**Губарьков Никита Сергеевич,**

специальность Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Научный руководитель **Ростунцова Ирина Алексеевна,**

ассистент кафедры тепловой и атомной энергетики

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет  
им. Гагарина Ю. А.», г. Саратов*

## **ОСНОВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МАНЕВРЕННОСТИ АЭС**

Применяемые на АЭС *системы аккумулирования тепловой энергии (САТЭ)* на данный момент представляют особый интерес. Они предназначены для повышения маневренности работы атомных электростанций с целью обеспечения приемлемых технико-экономических показателей в номинальном режиме, сохраняя при этом базовый режим работы реакторной установки (РУ) неизменным, что необходимо для обеспечения минимизации рисков, связанных с безопасностью.

Классический способ прямого аккумулирования – химическое аккумулирование не может предложить возможность накопления достаточного количества энергии. К тому же этот способ имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, дороговизна химических элементов, необходимых для аккумулирования. Во-вторых, ограниченный срок службы и необходимость их постоянной замены за время работы современной

АЭС делают их непригодными и малоперспективными для крупномасштабной энергетики.

Современные САТЭ с ВТТ позволяют аккумулировать несколько сот МВт электроэнергии с КПД около 80 %, обеспечивая при этом предельно низкие потери энергии.

Энергетическая стратегия России на период до 2020 года требует увеличения энергетической безопасности, энергетической эффективности, бюджетной эффективности и экологической безопасности для существующих и вновь строящихся объектов энергетики. На атомных станциях традиционно рассматривались два способа регулирования мощности: регулирование активной зоны и паротурбинной установки. Рассмотрим их подробнее.

Существует несколько *способов регулирования активной зоны реактора*:

- борное регулирование. Заключается в изменении концентрации поглотителя (раствора борной кислоты) в контуре охлаждения реактора с целью высвобождения реактивности до начала процесса йодного отравления;
- механическое регулирование. Заключается в перемещении систем управления активной зоны, обычно находящихся в среднем положении.

Наиболее эффективным способом создания маневренного режима на АЭС является создание установок, аккумулирующих энергию.

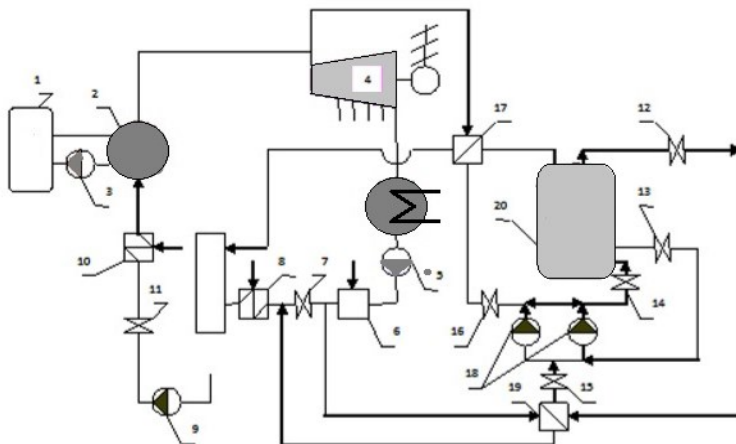
В рамках Энергетической стратегии России на период до 2020 года [1] были представлены различные *способы аккумулирования энергии*:

- гидроаккумулирующие станции;
- тепловые аккумуляторы;
- аккумулирование энергии с помощью сжатого воздуха;
- аккумуляторы на сверхпроводниках;
- суперконденсаторы;
- плазмодные аккумуляторы.

Наиболее эффективными из них являются тепловые аккумуляторы (ТА). Классифицировать виды тепловых аккумуляторов можно по характеру протекающих в их рабочих циклах процессах, основанных:

- на использовании жидких аккумулирующих сред (в т.ч. вода (питательная, «насыщенная»), высокотемпературные и низкотемпературные теплоносители);
- применении твердых аккумулирующих сред (например, керамический кирпич);
- системах фазовых переходов вещества;
- системах на основе электрохимических реакций.

Наиболее конкурентоспособным по стоимости, экономически эффективным и перспективным способом организации маневренного режима АЭС в настоящее время являются *системы аккумулирования тепловой энергии на основе ВТТ* (см. рисунок).



#### Принципиальная тепловая схема АЭС с САТЭ:

1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – циркуляционный насос 1-го контура; 4 – турбоустановка; 5 – конденсатный насос; 6 – первая группа ПНД; 7 – отключающая задвижка (ОЗ) на тракте основного конденсата; 8 – вторая группа ПНД; 9 – питательный насос; 10 – группа ПВД; 11 – задвижка на тракте питательной воды; 12, 13, 14, 15, 16, – регулировочные задвижки с электроприводом (РЗЭ); 17 – теплообменник для нагрева теплоносителя в режиме зарядки аккумулятора теплоты (АТ); 18 – циркуляционные насосы на тракте высокотемпературного теплоносителя теплоаккумулирующей системы; 19 – теплообменник для нагрева основного конденсата в режиме разрядки АТ; 20 – технологический бак АТ

Нагрев масла в представленной схеме производится теплотой конденсации в так называемых теплообменниках зарядки части свежего пара, отбираемого из основного потока в часы снижения нагрузки. Нагретое масло накапливается в специальных баках и может, в случае необходимости, вернуть тепло рабочей среде (основному конденсату и питательной воде) энергоблока. Возврат тепла производится в теплообменниках разрядки САТЭ, что позволяет полностью или в значительной степени исключить отбор пара на подогрев конденсата и питательной воды и тем самым использовать его на увеличение мощности турбины.

В качестве бака аккумулятора было предложено использование высокотемпературного органического теплоносителя с температурой воспламенения выше его максимальной рабочей температуры. В этом случае возможно применение баков-аккумуляторов атмосферного типа на основе типовых емкостей мазутного хозяйства ТЭС. В качестве высокотемпературного теплоносителя обычно используются термостабильные органические вещества, обладающие высокой температурой кипения и низкой вязкостью.

Методика расчета аккумулирующей части сводится к определению мощности АЭС в режиме разрядки и зарядки аккумулятора.

Расчетные значения пикового контура в режиме зарядки приведены в таблице:

Наименование параметра	Значение
Нагрузка на аккумулятор, $\varphi_1$	0,2
Расход пара, $D_{от}^{акк}, \frac{кг}{с}$	359
Давление пара, $P_{от}^{акк}, МПа$	1,36
Температура пара, $t_{от}^{акк}, ^\circ C$	283,8
Потери на трубопровод, $\Delta P_{тр}$	0,05
Давление пара с учётом потерь, $P_{от}^{акк'}$ , МПа	1,29
Энтальпия пара, $h_{от}^{акк}, \frac{кДж}{кг}$	3008
Потери давления пара в теплообменнике зарядки, $\Delta P^{ТЗ}$	0,1
Давление пара в ТЗ, $P_{др}^{ТЗ}, МПа$	1,161
Температура дренажа в ТЗ, $t_{др}^{ТЗ}, ^\circ C$	186,5
Энтальпия воды в ТЗ, $h_{в}^{ТЗ}, кДж/кг$	791,8
Время на пониженной нагрузке, $T_{пон}, сут/нед$	2,375
Время зарядки аккумулятора, $T_{зар}^{нед}, ч$	57
Мощность зарядки, $N_{зар}, МВт \cdot ч$	2216,2

## Выводы

1. Использование системы аккумулирования тепловой энергии с ВТТ на АЭС является одним из самых эффективных и перспективных способов повышения маневренности станции при работе РУ в базовом режиме. При этом также повышается мощность ПТУ, но стоит заметить, что прирост пиковой мощности ограничен форсирующими возможностями самой ПТУ. Для штатной ПТУ энергоблока ВВЭР-1200 это значение составляет примерно 5-7 % от номинальной мощности.

2. У САТЭ, в отличие от других способов аккумулирования тепловой энергии, имеется огромный потенциал удешевления, в связи с возможностью применять аккумулирующие среды с низкой стоимостью.



### Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. № 1234-р.
2. Маргулова, Т. Х. Атомные электрические станции / Т. Х. Маргулова. – М.: Высшая школа, 1994. – 289 с.
3. Абросимова, Н. И. К вопросу о конкурентоспособности системы аккумулирования тепловой энергии как способа организации маневренного режима АЭС / Н. И. Абросимова, М. М. Каверзнев // Вестник МЭИ. – 2006. – № 5. – С. 57-62.

УДК 621.79.01

**Губин Максим Андреевич,**

направление Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (бакалавриат), гр. КТМ-21

Научный руководитель **Алибеков Сергей Якубович,**

д-р техн. наук, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ

Рассматривается задача определения наилучшего современного способа сварки.

В наше время сварку классифицируют по нескольким категориям: термическая, термомеханическая и механическая. *Термический* способ сварки (электродуговая, электрошлаковая, лазерная) происходит при помощи нагрева металла с помощью термита, состоящего из порошкообразной смеси металлического алюминия или магния и железной окалины. *Термомеханический* способ сварки (точечная, диффузионная, стыковая) осуществляется при использовании давления и тепловой энергии. *Механический* способ сварки (сварка взрывом, ультразвуком) происходит благодаря механической энергии.

У всех видов есть свои как положительные, так и отрицательные стороны. Наиболее перспективными являются следующие способы:

- диффузионная;
- лазерная;
- ультразвуковая.

*Диффузионная сварка* – это сварка за счёт взаимной диффузии на атомарном уровне свариваемых поверхностей деталей [1]. Этим видом сварки производится полуавтоматическая, автоматическая в различных пространственных положениях, черных и цветных металлов и сплавов

широкого диапазона толщин. Положительные моменты у данного вида сварки: не требуется наличие сварочных припоев, электродов; не нужна дополнительная механическая обработка свариваемых поверхностей; достаточно высокое качество сварного соединения; малый расход затрачиваемой энергии; очень широкий диапазон толщин свариваемых деталей (от долей мкм до нескольких метров).

*Ультразвуковая сварка* – это сварка, источником энергии при которой являются ультразвуковые колебания [2]. Используется для сварки металлов, пластмасс, тканей, кожи, металлов со стеклом, полупроводниковыми материалами и др. Ультразвуковая сварка применяется при точечной, шовной и контурной сварке. При этом используются продольные и изгибные механические колебания. Положительные моменты у данного вида сварки являются: работы могут быть выполнены по загрязнённым поверхностям (требуется обезжиривание); выделение теплоты в зоне сварки ограничено по размерам, что не допускает перегрева при сваривании пластмасс; неразъемное соединение при сварке пластмасс возможно на большом удалении от точки ввода УЗ энергии; сварка возможна в труднодоступных местах; не имеет вредных выделений; малое время нагрева соединения до температуры сварки – доли секунды; возможна сварка очень тонких (до 0,001 мм) листов.

Термический способ сварки включает в себя один из прогрессирующих – *лазерный способ*. Данный вид сварки происходит с использованием лазера в качестве энергетического источника. Лазерная сварка применяется для сварки одинаковых и разнородных металлов в радиоэлектронике и электронной технике. Положительные моменты у данного вида сварки: возможность сварки высокоточных конструкций; сварка без правок или механической обработки; высоки скорость сварки и производительность работ (стальной лист толщиной 20 мм электрической дугой сваривают со скоростью 15 м/ч за 5-8 проходов, при сварке непрерывным лазерным лучом лист сваривается со скоростью 100 м/ч за 1); высокая экологическая безопасность по сравнению с традиционной сваркой.

**Вывод.** Из трех рассмотренных видов сварки лучшим является лазерная сварка, так как сварка этим способом не меняет структуру металла и практически его не окисляет, прочностные характеристики шва одинаковы или лучше большинства видов сварки.

### Список литературы

1. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка материалов / Н. Ф. Казаков. – М.: Металлургия, 1976. – 312 с.
2. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография / В. Н. Хмелев, С. С. Хмелев, А. Н. Сливин, А. Д. Абрамов. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та, 2014. – 281 с.

3. Малащенко, А. А. Лазерная сварка металлов / А. А. Малащенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 47 с.

УДК 612.766

**Давлятшина Аделия Рашитовна,**

Направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(бакалавриат), гр. ЭТМ – 31

Научный руководитель **Капустин Александр Валерьевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

### **ПОДБОР ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ ДЛЯ ВОЛНОВОГО РЕДУКТОРА ПРИВОДА КОЛЕННОГО СУСТАВА ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Медицинский экзоскелет предназначен для социальной и медицинской адаптации пациентов с двигательными нарушениями нижних конечностей вследствие заболеваний опорно-двигательного аппарата и нервной системы.

Экзоскелет состоит из механизма, повторяющего локомоторные движения нижней части опорно-двигательного аппарата. Посредством специальных креплений экзоскелет крепится к конечностям и полностью моделирует движения. Одним из элементов конструкции экзоскелета является привод коленного сочленения.

Для реабилитационного экзоскелета медицинского назначения выбран относительно легкий, наиболее простой в программировании и стабильный в обработке движений электровращательный сервопривод. Разрабатываемый привод включает в себя электродвигатели, редукторы и датчики обратной связи. Сервопривод должен полностью обеспечивать заданные движения (углы и угловые скорости), потреблять небольшое количество энергии, иметь небольшие размеры и массу [1].

Особенностью коленного сочленения является повышенная подвижность по сравнению с тазобедренным суставом, следовательно, несогабаритные размеры должны быть меньше. Кроме того, коленное сочленение находится в постоянном движении и испытывает постоянные ускорения, а следовательно, и инерционные нагрузки.

Наиболее подходящим редуктором для коленного сочленения является волновой редуктор (см. рисунок).

Волновые редукторы обладают небольшими габаритными размерами, с их помощью можно получить большие передаточные отношения при небольших габаритах, они обладают достаточной плавностью хода выходного звена и имеют удовлетворительную кинематическую точность. Другим преимуществом волновой передачи является её пониженная шумность работы.

Согласно проведённым исследованиям [2], крутящий момент в тазобедренном суставе зависит от положения бедра, локомоторной функции и массы.

Для решения поставленной задачи будем ориентироваться на максимальный крутящий момент  $M_{кр} = 160 \dots 190 \text{ Н}\cdot\text{м}$  и передаточное отношение редуктора между электродвигателем и выходным звеном (голень)  $U = 94 \dots 100$ .

Для волнового редуктора передаточное отношение рассчитывается по формуле

$$U = \frac{n_H}{n_2} = \frac{d_{жс}}{d_{жс} - d_2} = \frac{z_{жс}}{z_{жс} - z_2},$$

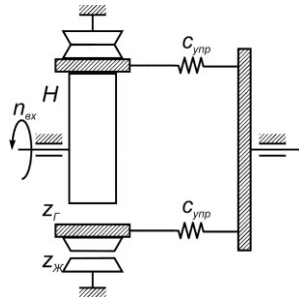
где индексами «г», «жс» и «H» обозначены соответствующие параметры диаметра и числа зубьев жесткого и гибкого колёс.

Число волн в генераторе рационально принять равным от 2 до 4. Исходя из этого возможные сочетания зубьев гибкого и жесткого колёс сведём в таблицу:

Число зубьев гибкого колеса, $z_г$	Число зубьев жесткого колеса, $z_жс$	Передаточное число, $U$	Количество волн, $C$
100	99	100	1
200	198	100	2
300	297	100	3
200	198	100	4

Таким образом, для волнового редуктора привода коленного сустава экзоскелета медицинского назначения можно принять:  $U = 100$ ,  $z_г = 200$ ,  $z_жс = 198$ ,  $C = 2$ .

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)), шифр 2017-218-09-1807, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.*



**Структурная схема волнового редуктора**

### Список литературы

1. Компьютерное моделирование регулярной ходьбы на основе кинематического анализа движений и синтеза алгоритмов управления экзоскелета / Ю. В. Лос-кутов, А. В. Капустин, К. С. Ключев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 3 (35). – С. 47-60.
2. Winter, David A. Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – JOHN WILEY & SONS, INC., 2009. – 370 p.

УДК 697.3

**Ермолаев Тимур Викторович,**

направление Промышленная теплоэнергетика (магистратура), гр. ПТСм1-18

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

### **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА АЛЬМЕТЬЕВСКА**

Тепловые сети – это системы трубопроводов, предназначенных для организации теплоснабжения различных объектов. По тепловым сетям производится транспортировка теплоносителя от котельной до потребителя, а затем возвращается обратно.

Именно в связи с тем, что перемещение теплового носителя совершает замкнутый цикл, разработаны схемы с различным количеством труб. От того, какое число труб используется, сети подразделяются на следующие типы: однотрубные, двухтрубные и многотрубные.

В России в основном используют двухтрубные системы, из которых уже порядка 30 % изношены или пребывают в плохом состоянии. Кроме того, многие из этих трубопроводов сделаны на основе неэффективной стали, максимальный срок эксплуатации которой не превышает 20 лет. В связи с экономией средств зачастую вместо полной замены коммуникаций осуществляется лишь их ремонт, который не позволяет полностью решить проблему [1].

Для передачи энергии от котельной применяются либо индивидуальные, либо центральные, от которых возможна прокладка сети из 4-х труб. Здесь две трубы предназначены для подсоединения отопительной системы, а две других – для горячего водоснабжения.

В настоящее время в качестве теплоносителя используется вода. Подобные коммуникации подразделяются на водяные тепловые магистральные сети и водяные тепловые распределительные сети. Но у таких сетей имеются различия.

Распределительные сети – это теплопроводы малого диаметра, от 50 и до 250 мм. Такие трубопроводы характеризуются внутриквартальным использованием, то есть ведут к потребителям. Магистральные сети – это теплопроводы большого размера, от 300 и до 1000 мм. Они предназначены для того, чтобы соединять районы потребления и источники подачи тепла [2].

Теплоснабжение г. Альметьевска было создано в 1953 году. Стремительное развитие промышленных предприятий способствовало значительному росту тепловой нагрузки, поэтому появилась необходимость строительства дополнительных котельных. В 1954 году был основан вспомогательный цех пароводоснабжения, а затем цех энергохозяйства управления «Альметьевнефть». Позднее в 1975 году он был реорганизован в «Предприятие объединенных котельных и тепловых сетей».

С 1976 года были утверждены на баланс 17 котельных. Со временем для сокращения затрат их количество изменилось.

ОАО «Альметьевские тепловые сети» является ведущим поставщиком тепла потребителям города. Часть населения в общем объеме потребителей составляет более 75 %.

В структуре предприятия 13 котельных, в том числе: 4 районные котельные и 9 квартальных котельных, 9 центральных тепловых пунктов (ЦТП), 5 подкачивающих насосных станций, 135 блочных индивидуальных тепловых пунктов и одна котельная в аренде.

Источником тепла для индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) служат теплогенерирующие предприятия. ИТП соединяется с источниками и потребителями тепла с помощью тепловых сетей. Источником воды для систем холодного и горячего водоснабжения служат водопроводные сети.

Суммарная установленная мощность котельных, находящихся на балансе предприятия, – 537,8 Гкал/ч, подключенная нагрузка – 397,1 Гкал/ч.

Величина тепловых сетей и линий горячего водоснабжения в двухтрубном исчислении на 2014 год составляла 196,1 км [3].

Предприятие участвует в выполнении инвестиционной программы реконструкции системы теплоснабжения города Альметьевска.

В ходе работы, направленной на удержание роста тарифа на тепловую энергию, окончен перевод открытой системы теплоснабжения микрорайона «Первый посёлок» в закрытую систему. В 66 жилых домах и 18 социальных учреждениях выполнена техническая модернизация 96 ИТП.

Итак, 133 ИТП микрорайона «Первый посёлок» находятся под управлением аварийно-диспетчерской службы ОАО «АПТС». По следующему этапу – строительству мини-ТЭЦ с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии – компания уже принялась к предпроектному обследованию площадок под размещение трёх энергоцентров.

Таким образом, определены основные направления деятельности предприятия.

- Получение тепловой энергии и горячей воды, транспортировка до потребителей.

- Реализация тепловой энергии и горячей воды различным группам потребителей.

- Проведение всего объема работ по сбыту тепловой энергии и горячей воды.

- Надежное и экономическое использование котельных, центральных тепловых пунктов и тепловых сетей.

- Создание и выполнение комплекса мероприятий, направленных на повышение надежности теплоснабжения потребителей, рост тепловых сетей, улучшение существующих схем теплоснабжения.

- Освоение и проведение мероприятий по внедрению новой техники и передовой технологии, контроль за рациональным использованием тепловой энергии потребителями.

- Введение современных методов эксплуатации и ремонта энергетического оборудования и тепловых сетей, рациональная и обоснованная организация труда.

### **Список литературы**

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – 7-е изд. стереотип. – М: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.

2. Тихомиров, А. К. Теплоснабжение района города: учеб. пособие / А. К. Тихомиров. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 135 с.

3. Альметьевский муниципальный район и город Альметьевск [Электронный ресурс] // Новостной агрегатор БезФормата. – Режим доступа: <http://almetevsk.bezformata.com/listnews/almetevskij-munitcipalnij-rajon-i-gorod/34299044/> (дата обращения 10.11.2018).

УДК 621.18:697.3

**Загретдинова Альфия Рифкатовна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ПТСм-1-17

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНОЙ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА**

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью внедрения энергоэффективной техники в процесс выработки теплоты ввиду истощения запасов традиционных энергетических ресурсов [1].

В настоящее время активно развивается автономное теплоснабжение с применением конденсационной техники. Котлы конденсационного типа имеют высокий КПД благодаря использованию не только явной, но и скрытой теплоты конденсации водяных паров из продуктов сгорания. Однако КПД может достигать максимальных значений только в конденсационном режиме, т.е. при температуре теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах не ниже 57 °С [2].

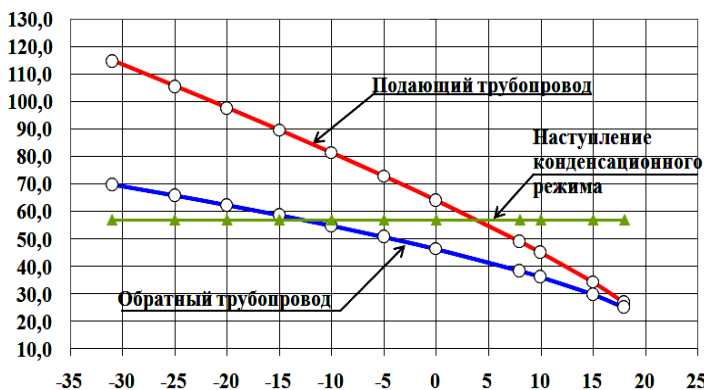
Для покрытия суммарной нагрузки, равной 1135 кВт, были подобраны газовые котлы конденсационного и традиционного типов марок Vitocrossal 200CM2 и Vitocrossal 100 PV1 соответственно. Котлы включаются в схему последовательно, причем конденсационный котел выполняет функцию основного, покрывающего базовую тепловую нагрузку, а традиционный – пикового котла [3].

Выбор режима работы котельной основывается на анализе температурного графика системы отопления (см. рисунок). Продолжительность отопительного периода составляет 217 суток, расчетная температура наружного воздуха – минус 31 °С (г. Казань) [4].

В первом варианте температурный график делится на три периода работы котлов.

Первый период соответствует диапазону температур наружного воздуха от начала отопительного сезона до 4 °С (точка пересечения линии конденсации с линией теплоносителя в подающем трубопроводе). Период теплоснабжения полностью в конденсационном режиме и составляет 13,7 % от всей продолжительности отопительного сезона. Будет работать один конденсационный котел с нормативным КПД 108 % при температуре отопительной системы 50/30 °С.





### Температурный график отопления 115/70 °С:

по горизонтали – температура наружного воздуха, °С; по вертикали – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах

Второй период соответствует диапазону температур наружного воздуха от 4 °С до минус 12 °С (точка пересечения линии конденсации с линией теплоносителя в обратном трубопроводе). Продолжительность периода составляет 62,9 % от всей продолжительности отопительного сезона. Будет работать один конденсационный котел с нормативным КПД 106 % при температуре отопительной системы 80/60 °С.

Третий период соответствует диапазону температур наружного воздуха от 12 °С и ниже. Продолжительность периода составляет 23,5 % от всей продолжительности отопительного сезона. Будут работать конденсационный и традиционный котлы при температуре отопительной системы 80/60 °С с нормативными КПД 106 % и 92 % соответственно.

Расчетное значение нормативного КПД котельной 104,6 %.

Во втором варианте принимается, что конденсационный котел работает до температуры наружного воздуха 4 °С, а при более низких значениях температур работают оба котла. Расчетное значение нормативного КПД котельной составило 100,2 %.

В третьем варианте принимается, что оба котла работают весь отопительный период последовательно. Расчетное значение нормативного КПД котельной составило 99 %.

Нормативное значение КПД котельной с газовыми котлами конденсационного и традиционного типов, включенных в схему теплоснабжения последовательно, может достигать от 99 % до 104 %.

### Список литературы

1. Загретдинова, А. Р. Отвод продуктов сгорания в котлоагрегатах конденсационного типа // А. Р. Загретдинова // Тинчуринские чтения: XIII молодежная научная конференция. – Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2018. – 175 с.
2. Загретдинова, А. Р. Перспективы применения децентрализованной системы теплоснабжения / А. Р. Загретдинова, А. Е. Кондратьев // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан: XVIII международный симпозиум. – Казань: Изд-во ИП Шайхутдинов А. И., 2018. – С. 137-138.
3. Загретдинова, А. Р. Автономная котельная с последовательным соединением теплогенераторов конденсационного и традиционного типов / А. Р. Загретдинова // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. – Ч. 2. – С. 81-82.
4. Амосов, Н. Т. Теплофикация и теплоснабжение: учеб. пособие / Н. Т. Амосов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 237 с.

УДК 621.18

**Зинуров Вадим Эдуардович,**

направление Техническая физика (магистратура), гр. ТПЭМ-1-17

**Научный руководитель Дмитриев Андрей Владимирович,**

д-р техн. наук, заведующий кафедрой теоретических основ теплотехники  
*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ СЕПАРАТОРЕ**

Сепарация многофазного газового потока от мелкодисперсных твердотельных частиц до 10 мкм является **актуальной задачей** в настоящее время. Аппараты, осуществляющие улавливание частиц пыли из газовых потоков, с данной задачей справляются крайне неэффективно. К таким аппаратам относятся различные модификации циклонов, мокрых пылеуловителей, фильтров, электрофильтров и др. Стоит отметить, что эти аппараты являются достаточно распространенными во всех областях промышленности вследствие высокоэффективной сепарации газовых потоков от частиц размером более 30 мкм. Однако при необходимости улавливания частиц пыли размером менее 10 мкм эффективность циклонов существенно падает.

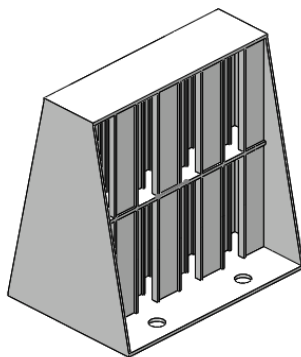
Использование мокрых скрубберов предполагает загрязнение сточных вод, что вызывает необходимость очистки жидкости, приводящей к существенному удорожанию процесса сепарации газа. Применение фильтров для данной цели является также экономически нецелесообразным мероприятием вследствие необходимости частой замены дорогостоящих элементов фильтров, вызванных абразивностью твердотельных частиц. Использование электрофильтров не всегда возможно, так как улавливаемые частицы могут быть взрывоопасными. Также серьезными ограничениями, сужающими область применения сухих электрофильтров, являются невозможность добиться в них стабильной остаточной запыленности ниже  $50 \text{ мг/м}^3$  без значительного увеличения затрат на очистку и недостаточная эффективность улавливания при высоком удельном электрическом сопротивлении пыли [1].

Данный аппарат представляет собой прямоугольный корпус размером  $a \times c \times h$ . Внутри устройства располагается несколько рядов элементов. При прохождении газового потока через сепаратор между элементами устройства возникает центробежная сила, отбрасывающая частицы к стенкам элементов и выбивающая их из структурированного потока.

Результаты проведенных ранее исследований показали, что эффективность сепарации газового потока от частиц пыли размером до  $10 \text{ мкм}$  сепаратором выше, чем циклоном ЦН-11-400 в среднем на  $50 \%$ . При улавливании частиц размером  $10\text{-}100 \text{ мкм}$  эффективность обоих устройств равнялась в среднем  $99,7 \%$ . Потери давления в сепараторе составили  $360 \text{ Па}$  против  $540 \text{ Па}$  в циклоне при входном объемном расходе воздуха  $0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Также было рассмотрено различное конструктивное оформление элементов очистительного сепаратора [2]. Наибольшая эффективность и наименьшее гидравлическое сопротивление в аппарате достигается при использовании двухтаровых элементов [3].

Авторами данной статьи предлагается использовать прямоугольный сепаратор в качестве второй ступени очистительной системы на предприятии после циклона или другого пылеуловителя, улавливающего твердые частицы размером более  $10 \text{ мкм}$  с эффективностью  $99,9 \%$  (см. рисунок).



**Численное моделирование взаимодействия жидкой и газовой фазы в элементе устройства**

Для повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц и понижения гидравлического сопротивления сепаратора необходимо определение оптимальных конструкционных размеров элементов аппарата.

Целью данной работы является определение оптимальной толщины двутавровых элементов в прямоугольном сепараторе.

**Вывод.** В ходе исследований установлено, что толщина двутавровых элементов внутри сепаратора и скорость на входе в сепаратор существенно влияют на эффективность сепарации газового потока. Максимальная эффективность прямоугольного сепаратора достигается при толщине стенки  $\delta = 1$  мм и скорости на входе  $W = 5$  м/с. Достоинства прямоугольного сепаратора: малая металлоемкость, высокая эффективность сепарации газового потока и компактность.

#### **Список литературы**

1. Зиганшин, М. Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки / М. Г. Зиганшин, А. А. Колесник, В. Н. Посохин. – М.: Экопресс-3М, 1998. – 505 с.
2. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. Л. Нгуен // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – № 1 (37).
3. Улавливание мелкодисперсных твердых частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. Л. Нгуен // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 3 (134).

УДК 550.812.14

**Ибадов Амиль Ахлиманович, Макуева Дилара Ахлимановна,**  
направление Теплоэнергетика и теплотехника

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **АКУСТИКО-РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Цель работы** – проведение численного исследования задачи о распространении упругих волн Лэмба для усовершенствованного акустико-

резонансного метода контроля местоположения заглубленных трубопроводов, выполненных из различных материалов.

При длительной эксплуатации трубопроводы подвергаются внутренним и внешним воздействиям, из-за чего происходит деградация материала, образование коррозии, появление и развитие трещин усталости на поверхностях труб и другие виды деформаций. Даже с учетом применения новейших материалов и технологий изготовления и прокладки трубопроводов невозможно исключить возникновения таких дефектов. Для того чтобы избежать нежелательных последствий увеличения дефектов, проводят обследования методами неразрушающего контроля [1].

В результате проведенной исследовательской работы был рассмотрен акустико-резонансный метод неразрушающего контроля заглубленных трубопроводов, в основу которого положено последовательное использование метода возбуждения и анализа параметров распространения волн Лэмба. Регистрируемым физическим параметром при этом является фазовая скорость упругих волн Лэмба, благодаря которым возможно проследить за изменением толщины стенок трубопровода [2].

Изучением двумерных волн в пластинах занимался английский математик и гидродинамик Сэр Гораций Лэмб. Он получил дисперсионные уравнения для симметричных и несимметричных мод таких волн. Для решения волнового уравнения упругого полого цилиндра рассматривалось распространение неосесимметричных волн аналогично распространению волн Лэмба в развернутых трубах [3-4].

Волны Лэмба относятся к нормальным волнам. Нормальные – волны, распространяющиеся в теле без изменения формы, возникающие в результате взаимных трансформаций и многократных отражений продольных и поперечных волн в тонком слое. Фазовая скорость волн Лэмба в слое малой толщины определяется с помощью формулы

$$c_{\lambda} = c_p \sqrt{\frac{1-2\nu}{(1-\nu)^2}},$$

где  $c_p$  – скорость продольных волн;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Целью исследования является разработка математической модели объекта контроля для заглубленных полипропиленовых, полиэтиленовых и стальных трубопроводов на различной глубине залегания с диаметром от 0,04 до 1 м с применением метода конечноэлементного моделирования для определения информативных частотных диапазонов.

Предлагаемый метод контроля местоположения заглубленных трубопроводов описан в патенте на изобретение № 2482515 и заключается в генерации резонансных звуковых колебаний в полости искомого объекта, при этом оконтуривание этого объекта осуществляется путем

перемещения чувствительного элемента (микрофона или пьезоэлектрического датчика) над зоной поиска. Отличием является то, что в данной работе в качестве математической модели был использован анализ распространения бегущих волн Лэмба вместо поверхностных волн Релея.

До проведения выработки и до возведения подземного трубопровода в грунт в неограниченном массиве он находится в состоянии естественного или геостатического равновесия при действии собственного веса.

При этом на глубине в массиве грунта (рис. 1) действуют следующие сжимающие напряжения (давления): вертикальные  $q_v$  и горизонтальные  $q_g$ .

Давление грунта на подземный трубопровод оказывается иным, чем давление в нетронутом массиве на той же глубине, так как:

- во-первых, трубопровод обладает иной жесткостью, чем грунт;
- во-вторых, в период времени между разработкой грунта и возведением трубопровода успевают произойти перемещения грунта;
- наконец, в-третьих, между трубопроводом и массивами остаются зазоры, допускающие некоторые перемещения грунта.

Давление, оказываемое грунтом на трубопровод, зависит:

- от глубины заложения и жесткости последнего;
- влажности и степени уплотнения грунта над трубопроводом, и особенно рядом с ним;
- способа возведения трубопровода.

Следует различать три основных случая возведения трубопровода:

– *трубопровод в насыпи* (рис. 2, а), возведенные или уложенные непосредственно на поверхности земли или в очень небольшом по сравнению с шириной выемки углублении с последующей засыпкой; так обычно сооружаются водопропускные трубы под дорожными насыпями;

– *трубопровод в выемке или траншее* (рис. 2, б), когда он возводится или укладывается в открытой выработке, имеющей небольшую по сравнению с глубиной ширину и ограниченной более или менее твердыми стенками; пространство рядом с трубопроводом и над ним заполняется грунтом; так обычно укладываются трубопроводы водоснабжения, канализационные коллекторы, водостоки и др.;

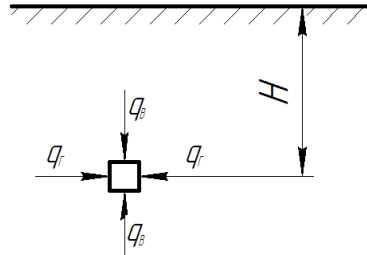


Рис. 1. Подземный трубопровод в грунте

– трубопровод, возведенный закрытым способом (рис. 2, в), при котором массив грунта не нарушается с поверхности; этот способ применяется при строительстве туннелей и при бестраншейной прокладке трубопроводов.

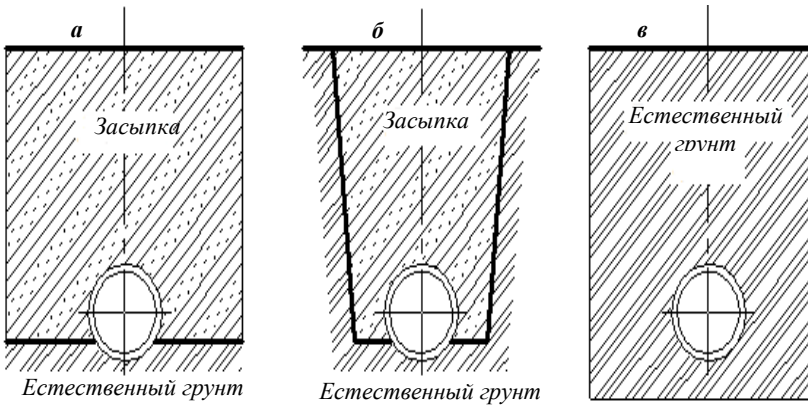


Рис. 2. Способы возведения трубопроводов в грунте

Давление грунта на подземный трубопровод не остается постоянным, а меняется вследствие изменения температурно-влажностных условий и ползучести грунта. В большинстве случаев давление на сооружение постепенно нарастает с течением времени, достигая наибольшей величины через некоторый промежуток времени, иногда с последующим уменьшением. Для определения давления на подземные трубопроводы от грунта последний рассматривают либо в качестве упругой, либо в качестве сыпучей среды.

**Выводы.** Предлагаемый метод позволяет упростить контроль местоположения заглубленных трубопроводов в связи с тем, что возбуждается резонансная частота искомого объекта, повышается избирательность контроля. Метод также обеспечивает высокую достоверность контроля местоположения заглубленных как неметаллических, так и металлических трубопроводов [5-7].

#### Список литературы

1. Афанасьев, В. Б. Современные методы неразрушающего контроля / В. Б. Афанасьев, Н. В. Чернова // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7 – С. 73-74.

2. Ибадов, А. А. Основные методы диагностирования заглубленных трубопроводов / А. А. Ибадов, С. О. Гапоненко, А. Ф. Нигматулина // Научному прогрессу – творчество молодых. – Йошкар-Ола. 2018. – С. 83-85.

3. Bingham, J. Lamb wave detection of delamination in large diameter pipe coatings / J. Bingham, M. Hinders // The open acoustic journal. – 2009. – Vol. 2. – P. 75-86.

4. Hayashi T. Calculation for guided waves in pipes and rails / T. Hayashi, K. Kawashima, J. L. Rose // Key engineering materials. – 2004. – Vol. 270-273. – P. 410-415.

5. Гапоненко, С. О. Измерительно-диагностический комплекс для определения расположения скрытых трубопроводов / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев Т. О. Политова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 3-4. – С. 138-141.

6. Гапоненко, С. О. Модельная установка для разработки способа определения местоположения скрытых трубопроводов / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – № 7-8. – С. 123-129.

7. Гапоненко, С. О. Акустический метод определения скрытых полых объектов сложной формы / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев. – Lambert Academic Publishing (Германия), 2014. – 136 с.

УДК 612.766

**Ивличева Екатерина Александровна,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов,  
гр. ЭТМ – 31

Научный руководитель **Капустин Александр Валерьевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ БАЛАНСА ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Конструкция экзоскелета медицинского назначения (экзоскелет) представляет собой совокупность механических и электрических элементов, соединенных между собой определенным образом и совершающих движения по законам, задаваемым системой управления. Среди прочих элементов экзоскелет снабжается системой безопасности движений. Система безопасности движений состоит из механической и электрической частей и включает в себя защиту от перемещений звеньев за критические углы [1].



**Цель работы** – дать примерное описание алгоритма взаимодействия датчиков гироскопа (положения) экзоскелета с приводами педипуляторов с целью поддержания баланса и предотвращения падения.

Обозначим буквами  $D$  и  $A$  электроприводы в тазобедренном и коленном суставах. Электроприводы с векторным управлением снабжены BLDC двигателем, соединенным с редуктором. Коленные электроприводы имеют обратную связь с опорными датчиками модуля стопы  $c_1$  и  $c_2$  для регистрации силы опоры. Изменение положения выходного звена привода задается двумя абсолютными однооборотными энкодерами. Один энкодер расположен на выходном валу электродвигателя, другой – на выходном валу редуктора.

Положение в пространстве тела человека в экзоскелете можно представить координатами бедренной части (см. рисунок) [2]:

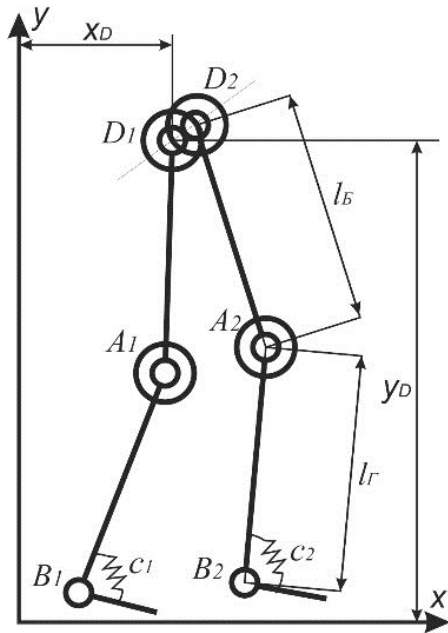
$$\begin{cases} x_D = l_B \sin \alpha + l_T \sin \beta + x_B, \\ y_D = l_B \cos \alpha + l_T \cos \beta + y_B. \end{cases}$$

Основными задающими функциями являются функции изменения углов по времени бедренного и коленного суставов правого  $R$  и левого  $L$  педипуляторов:

$$[L] = \begin{cases} \alpha_1(t) \\ \beta_1(t) \end{cases}; [R] = \begin{cases} \alpha_2(t) \\ \beta_2(t) \end{cases}.$$

Функции  $[L]$  и  $[R]$  являются главными входными параметрами для программного обеспечения компьютера, которое согласно программе и режиму реабилитации, а также согласно массогабаритным размерам пациента загружает в бортовую SD-память экзоскелета dat-файл работы электроприводов.

В необходимый момент, который задается либо с пульта управления экзоскелета, либо с пульта на костыле, контроллер подает сигнал на работу электроприводов по заданному закону.



**Структурная схема экзоскелета**

В это же самое время начинают работать опорные датчики в сегментах стопы, фиксируя необходимое давление  $p_1, p_2$  для безопасной работы экзоскелета.

При возникновении давления или разности давлений, не соответствующих нормативным, на контроллер будет подана команда выравнивания или фиксации положения педипулятора, одновременно с этим начнет работать звуковой сигнал. Работу функции управления обратной связью между электроприводами и опорными датчиками для различных этапов прямолинейной ходьбы можно представить так:

$$\begin{aligned} & \text{if} \left( p_1 = \frac{M}{2} \pm 5\%, p_2 = \frac{M}{2} \pm 5\% \right) t = t_1 \dots t_n, [L], [R]; \text{ else stop}(t); \\ & \text{if} (p_1 = M \pm 5\%, p_2 = 0 \pm 5\%) t = t_1 \dots t_n, [L], [R]; \text{ else stop}(t); \\ & \text{if} (p_1 = 0 \pm 5\%, p_2 = M \pm 5\%) t = t_1 \dots t_n, [L], [R]; \text{ else stop}(t). \end{aligned}$$

где  $M$  – масса человека вместе с экзоскелетом,  $t$  – время в цикле.

Погрешность в 5% объясняется погрешностью самого опорного датчика, а также силами и моментами сил инерции, возникающих при колебаниях и перемещении элементов экзоскелета во время движения.

Следует отметить, что движение пациента должно сопровождаться контролем либо со стороны обслуживающего персонала, либо со стороны самого пациента при помощи костылей, что в некоторых локомоциях является предпочтительней. В процессе движения возможно изменение скорости движения, а также выбор других локомоций после полной остановки экзоскелета.

Алгоритм на начальном этапе предотвращает движение экзоскелета, из-за которого может произойти падение.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»», шифр 2017-218-09-1807, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218*

### **Список литературы**

1. Схемные решения системы управления реабилитационным экзоскелетом медицинского назначения / А. В. Капустин, Ю. В. Лоскутов, Д. В. Скворцов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2018. – № 2 (38). – С. 77-86.
2. Компьютерное моделирование регулярной ходьбы на основе кинематического анализа движений и синтеза алгоритмов управления экзоскелетом /

Ю. В. Лоскутов, А. В. Капустин, К. С. Ключев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 3 (35). – С. 47-60.

УДК 621.175.6

**Казакова Анастасия Андреевна,**

специальность Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Научный руководитель **Ростунцова Ирина Алексеевна,**

ассистент кафедры тепловой и атомной энергетики

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А.», г. Саратов*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРСИРОВОЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС**

**Аннотация.** Исследованы режимы получения дополнительной мощности путем оптимизации конечных параметров энергоблока АЭС. Получены оптимальные значения конечного давления на режимах увеличения мощности энергоблока. Определена зависимость экономического эффекта от продолжительности режима с повышенной мощностью.

**Ключевые слова:** дополнительная мощность, критерий оптимального эксплуатационного вакуума, мощность циркуляционных насосов, экономический эффект.

Анализ графиков электрических нагрузок и увеличение доли атомных электростанций в структуре топливно-энергетического баланса будет определять необходимость привлечения АЭС к покрытию переменной части графика нагрузок [1]. При таком режиме работы для базовых энергоустановок целесообразно повышать регулировочный диапазон путем увеличения верхнего предела мощности.

Обеспечение режима кратковременного повышения мощности энергоблока возможно несколькими путями:

- при той же поверхности теплопередачи в парогенераторе (ПГ) снижаются параметры насыщенного пара перед турбиной с включением вторичного пароперегревателя (ВПП), при этом режим работы ПГ, а следовательно, и параметры пара турбиной неизменны, пропуск всего пара обеспечиваются перегрузочным клапаном;
- возможен комбинированный принцип получения дополнительной мощности, частично развитием поверхности ПГ;

- повышенный пропуск пара в конденсатор за счет отключения системы регенерации, в частности подогревателей высокого давления (ПВД).

На форсировочных режимах с повышенным пропуском пара в конденсатор следует рассмотреть вопрос выбора оптимального эксплуатационного вакуума  $p_{\phi i}$ , который необходимо поддерживать в режимах увеличения мощности энергоблока.

Критерием оптимального эксплуатационного вакуума, который необходимо поддерживать в режимах повышенной мощности энергоблока, является максимум отпуска электроэнергии с шин станции:

$$\Delta N_{T\Phi} - \Delta N_H \rightarrow \max,$$

где  $\Delta N_{T\Phi}$  – изменение мощности турбины, связанное с достижением максимального эксплуатационного вакуума, кВт;  $\Delta N_H$  – дополнительный расход электроэнергии на привод циркуляционных насосов, связанный с увеличением расхода циркуляционной воды для достижения оптимального давления пара в конденсаторе на режиме повышенной мощности  $P_{2\phi}$ , кВт.

Изменение мощности турбоустановки можно определить согласно формуле

$$\Delta N_{T\Phi} = (D_K + \Delta D_{\phi}) \cdot [(h_{2\phi o} - h_{2\phi i}) - \Delta h_{BC}],$$

где  $D_K$  и  $\Delta D_{\phi}$  – суммарный расход пара в конденсатор на номинальном режиме и его увеличение на кратковременном режиме, кг/с;  $h_{2\phi o}$ ;  $h_{2\phi i}$  – энтальпия пара в конце реального процесса расширения пара при повышении мощности в условиях неизменного расхода циркуляционной воды через насосы и при регулировании этого расхода  $G_{Hi}$ , кДж/кг;  $\Delta h_{BC}$  – изменение потерь с выходной скоростью в расчетном варианте.

Изменение мощности циркуляционных насосов, связанное с переходом от исходного варианта работы  $N_{HO}$  к оптимальному  $N_{Hi}$ :

$$\Delta N_H = N_{Hi} - N_{HO}, \text{ МВт},$$

где мощность циркуляционных насосов рассчитывается по формуле

$$N_{Hi} = \frac{G_{Hi} \cdot H_{Hi}}{\rho \cdot \eta_{Hi}}, \text{ МВт},$$

где  $G_{Hi}$  – расход циркуляционной воды:

$$G_{Hi} = \frac{D_{ki} \cdot (h_{nk} - h_k) \cdot \eta_{oc}}{(t_{2B} - t_{1B}) \cdot C_{pB}}, \text{ кг/с},$$

где  $D_{ki}$  – расход пара в конденсатор, кг/с;  $h_{nk}$  и  $h_k$  – энтальпии пара и конденсата, кДж/кг;  $t_{2B}$  и  $t_{1B}$  – температура циркуляционной воды на

входе и выходе;  $H_{Hi}$  – полный напор, развиваемый циркуляционным насосом, кПа;  $\rho$  – плотность воды, осредненная по процессу сжатия  $\text{кг/м}^3$ ;  $\eta_{Hi}$  – КПД циркуляционного насоса.

Напор  $H_{Hi}$  складывается из потерь давления в водоводах  $H_{Bi}$ , конденсаторе  $H_{Ki}$  и геодезических потерь давления  $H_{Г}$ :

$$H_{Hi} = H_{Bi} + H_{Ki} + H_{Г}.$$

Результаты расчетов оптимальной величины эксплуатационного вакуума на различных режимах повышения мощности представлены на рисунке 1. Расчет произведен в зависимости от величины коэффициента увеличения расхода пара в конденсатор при режимах кратковременного повышения мощности:

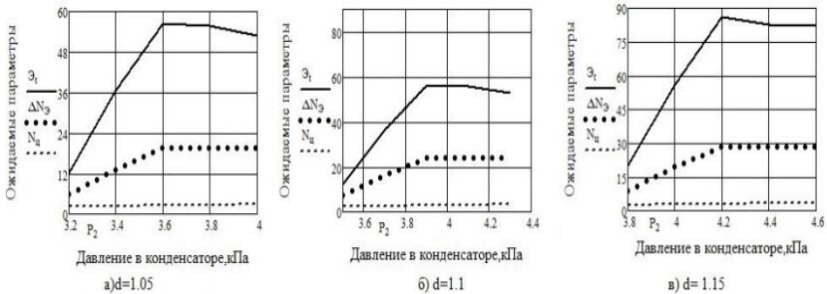
$$d_{\phi} = \frac{D_K^{\phi}}{D_K}.$$

Экономический эффект от оптимизации эксплуатационного вакуума определяется так:

$$\mathcal{E}_i = (\Delta N_{T\phi} - \Delta N_H) \cdot \tau_{\phi} \cdot T_{ЭЭ}, \text{ руб./год},$$

где  $\tau_{\phi}$  – число часов использования установки на повышенных режимах, ч/год,  $T_{ЭЭ}$  – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Результаты расчетов изменения расчетных параметров при различных режимах повышения мощности увеличением пропуска пара в конденсатор для энергоблока с турбоустановкой К-1200-68/50 представлены на рисунке 1.



**Рис. 1. Изменения расчетных параметров в зависимости от режимов повышения мощности:**

$\mathcal{E}_i$  – эффект от оптимизации, млн руб./год;  $\Delta N_{Э}$  – изменение электрической мощности блока, МВт;  $N_{ц}$  – мощность циркуляционного насоса, МВт

На рисунке 1 видно, что режимы кратковременного повышения мощности приводят к увеличению электрической мощности энергоблока до оптимального давления  $P_2$ . В то же время возрастает расход электроэнергии на привод циркуляционных насосов в связи с увеличенным пропуском циркуляционной воды в конденсатор. При этом эффект от оптимизации имеет положительную тенденцию роста при преобладающем росте электрической мощности. Для режима с различными значениями  $dk$  получены оптимальные значения давлений в конденсаторе:  $P_{2(k)} = 3,6$  кПа при  $dk = 1,05$ ;  $P_{2(k)} = 3,9$  кПа при  $dk = 1,1$ ;  $P_{2(k)} = 4,2$  кПа при  $dk = 1,15$ .

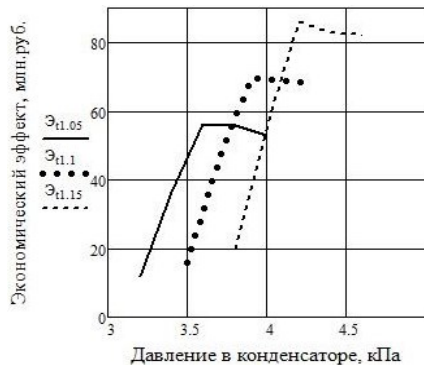
В таблице представлены зависимости экономического эффекта от продолжительности работы блока в режиме повышенной мощности  $\tau$  и от  $d_{\phi}$ . Как видно, с ростом  $\tau$  увеличивается  $\mathcal{E}_i$ , что подтверждает экономическую выгоду получения в часы прохождения максимума электрической нагрузки дополнительной пиковой мощности на действующей установке за счет углубления вакуума до экономических значений.

**Зависимость экономического эффекта (млн руб./год) от продолжительности работы блока в режиме повышенной мощности**

Режим повышения мощности	Продолжительность увеличения мощности, ч/год			
	1000	1500	2000	2500
$d_{\phi} = 1,05$	56,27	84,405	112,54	140,7
$d_{\phi} = 1,1$	69,51	104,265	139,02	173,8
$d_{\phi} = 1,15$	86,06	129,09	172,12	215,2

Результаты расчета экономического эффекта при оптимизации эксплуатационного вакуума показаны на рисунке 2 для  $d_{\phi}=1,05; 1,1; 1,15$ .

Оптимальное значение давления в конденсаторе  $p_{эф}^{opt}$  растет с увеличением  $d_{\phi}$ , что объясняется повышением удельной нагрузки выходного сечения последней ступени и потери с выходной скоростью. При этом оптимальные значения эксплуатационного вакуума оказываются глубже соответствующих исходных значений  $P_{эф}$ .



**Рис. 2. Зависимость годового экономического эффекта оптимального давления при продолжительности режима 1000 ч/год**

## Литература

1. Хрусталеv, В. А. Повышение мощности действующих энергоблоков с водо-водяными реакторами: состояние, проблемы и перспективы / В. А. Хрусталеv, М. В. Гариевский // Труды Академэнерго. – 2017. – № 4. – С. 77-88.

УДК 621.311

**Кокорина Ольга Ивановна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (бакалавриат), гр. ТТ-41

Научный руководитель **Месяков Андрей Андреевич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА НА ТЭС

В статье рассматривается новый способ охлаждения отработавшего пара с паровой турбины ТЭС с помощью воздушных конденсаторов.

**Цель** – провести анализ работы системы воздушного охлаждения отработавшего пара на ТЭС.

**Актуальность** темы обусловлена тем, что при использовании воздушных конденсаторов теплоэлектростанция становится независимой от источника воды, как при системе оборотного и прямоточного водяного охлаждения. Также исключается необходимость в сооружении и использовании водозаборных и очистных сооружений, строительстве градирен.

Почти все ТЭС работают по циклу Ренкина, в котором требуется отвод отработавшего низкопотенциального тепла пара с паровой турбины. Устройства, предназначенные для отвода тепла отработавшего пара, называются конденсаторами [2].

Широкое распространение в России получили конденсаторы с водяным охлаждением. У этих конденсаторов имеется ряд недостатков:

- для конденсации требуется большое количество охлаждающей воды, необходима система подвода и отвода, охлаждения воды;
- необходима система очистки труб конденсатора от механических, солевых и биологических загрязнений;
- при эксплуатации прямоточной и оборотной системы с прудами-охладителями возникают проблемы во время паводка и мелководья, а для систем с градирнями – в зимнее время;

- при водяном охлаждении нельзя получить температуру конденсации пара ниже 10 °С;
- поскольку конденсация водяного пара происходит при давлении ниже атмосферного, требуется система отвода воздуха из конденсатора и затраты на ее установку и эксплуатацию.

Большинство этих проблем можно решить при применении конденсаторов с воздушным охлаждением пара.

На рисунке 1 представлена система непосредственного воздушного охлаждения.

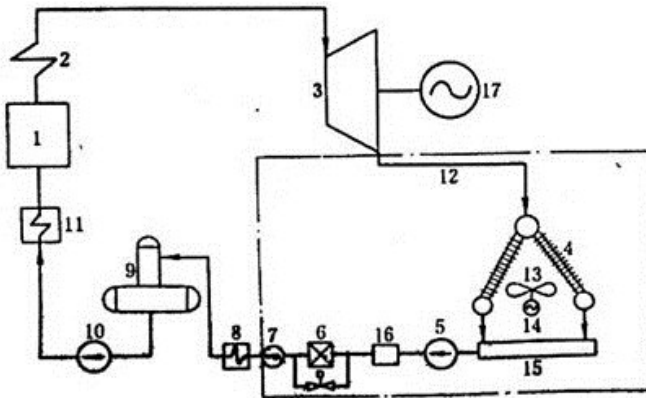


Рис. 1. Система воздушного охлаждения: 1 – котел; 2 – пароперегреватель; 3 – турбина; 4 – конденсатор с воздушным охлаждением; 5 – конденсатный насос; 6 – установка тонкой очистки конденсата; 7 – конденсатный насос 2-го подъема; 8 – подогреватель низкого давления (ПНД); 9 – деаэрактор; 10 – питательный насос; 11 – подогреватель высокого давления (ПВД); 12 – выхлопной патрубок турбины; 13 – осевой вентилятор охлаждения; 14 – вертикальный электродвигатель; 15 – бак конденсата; 16 – железоотделитель; 17 – генератор

Отработавший пар с турбины, проходя через выхлопной патрубок и коллектор большого диаметра, подаётся к вынесенному конденсатору. С помощью осевых вентиляторов поток воздуха охлаждает наружную поверхность конденсатора, пар конденсируется и под действием силы тяжести собирается в конденсатосборнике, откуда он конденсатными насосами подаётся обратно в тепловую схему.

Исключительностью системы воздушного охлаждения является то, что конденсатор должен быть вынесен за пределы машинного отделения.



Впервые на ТЭС ВК был применен на энергоблоке мощностью 160 МВт в маловодном районе Испании в 1970 г. [1]. В настоящее время имеются блоки с ВК мощностью выше 600 МВт. Воздушные конденсаторы уже нашли широкое применение в таких странах, как США, Германия, Франция, ЮАР, Нидерланды, Китай [3]. Первый в мире крупный энергоблок 1000 МВт с системой непосредственного воздушного охлаждения – Линуйская ТЭС мощностью 1000 МВт – введен в эксплуатацию 28.12.2010 (рис. 2).

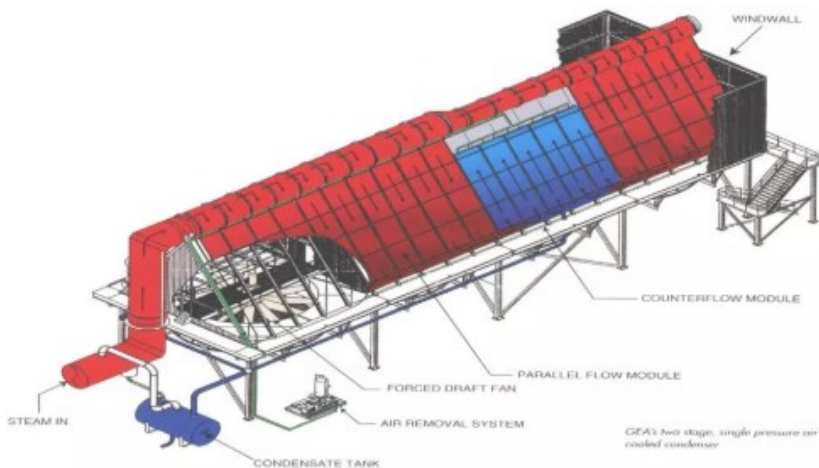


Рис. 2. Общий вид конденсатной установки с воздушным охлаждением

**Вывод.** Таким образом, воздушные конденсаторы по сравнению с водоохлаждаемыми имеют следующие преимущества: независимость расположения ТЭС от источника водоснабжения; уменьшение экологического влияния на человека, природу и атмосферу в районе расположения ТЭС; существенное сокращение площади, занимаемой ТЭС, из-за отсутствия системы технического водоснабжения; сокращение затрат и сроков строительства ТЭС.



Рис. 3. Первый в мире крупный энергоблок 1000 МВт с системой непосредственного воздушного охлаждения – Линуйская ТЭС

### Список литературы

1. Клевцов, А. В. Анализ применения воздушных конденсаторов в энергетике / А. В. Клевцов, В. А. Пронин // Современные природоохранные технологии в электроэнергетике. Разд. 6.4.1. – М.: МЭИ, 2007. – С. 1-8.
2. Мильман, О. О. Воздушно-конденсационные установки / О. О. Мильман, В. А. Федоров. – М.: МЭИ, 2002. – 208 с.
3. Юшков, Б. В. Разработка воздушного конденсатора нового поколения и исследование его характеристик: дис. ... канд. техн. наук / Б. В. Юшков; Моск. энерг. институт. – М., 2001.

УДК 621/31

**Коновалов Сергей Николаевич, Ливанова Татьяна Сергеевна,**  
направление Электроснабжение (бакалавриат), гр. ЭЭ-41

Научный руководитель **Белогусев Владимир Николаевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры электромеханики  
*ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола*

## **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНОГО КОГЕРЕНТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ПЛАНЕТАРНЫХ РЕДУКТОРОВ**

**Цель** – разработать аппаратно-программный комплекс (далее АПК) для увеличения точности и эффективности планетарного электропривода на основе колебательных составляющих планетарного редуктора и электродвигателя.

**Актуальность.** Высокоточные планетарные редукторы используются в самых передовых отраслях человеческой деятельности: робототехнике, космосе, медицине, станкостроении, транспорте, энергетике и в других отраслях [1, 2].

Современный высокоточный электропривод (рис. 1) – это механизм, который состоит [3]:

- из драйвера, который управляет электродвигателем;
- электродвигателя, который имеют свою колебательную составляющую выходных характеристик, снижая КПД электропривода;
- высокоточного планетарного редуктора, у которого имеется колебательная характеристика выходного звена, которая снижает точность электропривода.

Колебания планетарного редуктора и электродвигателя понижают точность и КПД электропривода, а в космосе, робототехнике, медицине,

военной сфере даже самые незначительные ошибки, в секунды градуса, порой стоят человеческих жизней или миллиардных убытков.



Драйвер

Электродвигатель

Планетарный редуктор

Рис. 1. Схема высокоточного синхронного электропривода

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научно-технические задачи:

1) разработать научно-технические основы увеличения точности и эффективности планетарного электропривода на основе колебательных составляющих планетарного редуктора и электродвигателя;

2) разработать АПК, который будет реализовывать научно-технические основы увеличения точности и эффективности планетарного электропривода на основе колебательных составляющих планетарного редуктора и электродвигателя.

Чтобы избежать негативного влияния колебаний и повысить точность и энергоэффективность электропривода, необходимо создать драйвер (аппаратно-программный комплекс), который будет создавать такие режимы работы электропривода, как:

- «повышение точности электропривода» (работа в противофазе) – увеличение точности редукторов (уменьшение угловой ошибки с 70 до 30 угловых секунд);

- «повышение эффективности электропривода» (работа когерентна) – увеличение момента и КПД от 3 до 10 % в зависимости от оборотов и нагрузки на электропривод.

Реализуются данные режимы следующим образом:

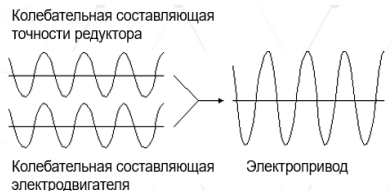


Рис. 2. Графическое представление работы в противофазе

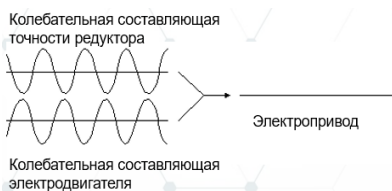


Рис. 3. Графическое представление когерентной работы

- 1) определяем колебательную составляющую электродвигателя на холостом ходу и под нагрузкой;
- 2) определяем колебательную составляющую электропривода на холостом ходу и под нагрузкой;
- 3) вычленим колебательную составляющую редуктора из колебательной составляющей электропривода;
- 4) определяем возможности регулировок и смещения колебательных составляющих электродвигателя и редуктора.

**Вывод.** АПК позволит увеличить эффективность, точность и качество планетарного электропривода, а также расширит исследовательские наработки в области планетарного электропривода.

#### **Список литературы**

1. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов. – М.: Высш. шк., 1999. – 400 с.
2. Левитский, Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М.: Наука, 1979. – 576 с.
3. Решетов, Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 655 с.
4. RV. Untersetzungs – Getriebe fur hochprazise Steuerung. Neue Mechanik (Rotary Vector). (Проспектф. Teijin Seiki Co., LTD), Япония.

УДК 621.791

**Кудрявцев Андрей Александрович,**  
направление Машиностроение (магистратура), гр. МСм-11

Научный руководитель **Алибеков Сергей Якубович,**  
д-р техн. наук, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»*  
*г. Йошкар-Ола*

## **СВАРКА РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Машиностроение как отдельная отрасль появилось больше двух веков назад. Продукты, выпускаемые различными производными отраслями, позволяют нам пользоваться предметами повседневного быта. В реалиях современного производства при получении изделий, от составных частей которых необходимы различные свойства, используются составные элементы из сплавов различных металлов. Не всегда болтовое соединение обеспечивает достаточную вариативность конструкции и герметичность, поэтому для достижения данных параметров применяют сварное соединение.

При сварке двух различных металлов прочность конструкции совпадает с металлом, прочность которого ниже. Поэтому стоит выделить, что системы с данным пределом прочности, соединённые сварным швом, не смогут разойтись. Данные соединения производят между различных видов металлов, а также с многими видами сварки. Основной проблемой при работе с разнородными металлами является то, что такие процессы первоначально подлежат изучению, а именно изучению фазовых диаграмм интерметаллических соединений. Если между выбранными металлами возможна свариваемость, то это объединение будет успешно произведено. В противном случае этого сделать не удастся.

Далее рассмотрим различные вариации разнородных металлов.

При сварке алюминиевых сплавов с медными образуется хрупкая интерметаллическая фаза (CuAl<sub>2</sub>). Данная зона обуславливается низкой прочностью сварного. Если толщина интерметаллидной прослойки меньше 1 мкм, она не влияет на прочность соединения. Для повышения прочностных характеристик шва проводят легирование кремнием (4-5 %) и цинком (6-8 %), так как эти элементы подавляют рост интерметаллидной прослойки.

Сварка алюминиевых сплавов с титаном не вызывает трудностей: после зачистки кромок титанового изделия его покрывают алюминием, а затем сваривают аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом. В данном случае при соблюдении всех условий интерметаллиды по линии стыковки не успевают образоваться.

Радикальное различие свойств титана и меди вызывает образование хрупких интерметаллидов. Поэтому целесообразно использовать специальные промежуточные вставки из специально выплавляемых сплавов титана, которые легируются молибденом или же ниобием для понижения температуры превращения фаз и позволяют получить однородные титановые сплавы со стабильной структурой, схожей со структурой меди. Данные сплавы обеспечивают высокие прочностные показатели сварных швов.

Отдельно стоит выделить получение сварочного соединения ниобия, тантала и молибдена с различными сплавами. Данные металлы используются в большинстве случаев как связующие компоненты.

Сходство свойств титана с танталом и ниобием позволяет получать при сварке данных металлов твёрдый раствор без хрупких интерметаллических включений.

Для меди чаще всего используют ниобий, который удовлетворительно сваривается как с самой медью, так и медными сплавами, с кото-

рыми образует ограниченные растворы. При взаимодействии тантала с медью не образуются растворы и соединения.

**Вывод.** Таким образом, для выполнения качественного сварного соединения необходимо соблюдение конкретных условий, связанных со свойствами металлов, определяющими выбор основного и присадочно-го материалов и работоспособность изделия:

- изменение состава шва в участках, примыкающих к основному металлу другого легирования, чем наплавленный металл;
- образование в месте плавления разнородных металлов малопрочных и хрупких кристаллизационных и диффузионных включений;
- наличие в сварных соединениях остаточных сварочных напряжений, которые не могут быть сняты термической обработкой.

#### **Список литературы**

1. Чернышов, Г. Г. Основы теории сварки и термической резки металлов / Г. Г. Чернышов. – М.: Академия, 2010. – 208 с.
2. Кочергин, К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин. – М.: Глав. ред. литературы по машиностроению и металлообработке, 2008. – 104 с.
3. ГОСТ. Сварка, пайка и термическая резка металлов: сборник ГОСТов. Часть 1. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 288 с.
4. Грабин, В. Ф. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей / В. Ф. Грабин, А. В. Денисенко. – Киев: Наукова Думка, 1978. – 276 с.
5. Земзин, В. Н. Термическая обработка и свойства сварных соединений / В. Н. Земзин, Р. З. Шрон. – Л.: Машиностроение, 1978. – 367 с.

УДК 612.766

**Куликов Валерий Викторович,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(бакалавриат), гр. ЭТМ – 31п

Научный руководитель **Капустин Александр Валерьевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **РАСЧЕТ ИНЕРЦИОННЫХ НАГРУЗОК В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАХ ЭКЗОСКЕЛЕТА ПРИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

Медицинский экзоскелет предназначен для реабилитации людей после травм и болезней нервной системы.

Экзоскелет представляет собой пространственную кинематическую цепь с шестью степенями свободы. При помощи специальных креплений он фиксируется на поясном отделе, а также ногах и моделирует движения, идентичные локомоторным движениям человека: прямолинейная ходьба, сед и посадка на опору, ходьба по лестнице, ходьба по кривой и т.п.

В отличие от поддерживающего и усиливающего экзоскелетов медицинский экзоскелет должен иметь возможность полностью удерживать вес человека и при этом производить движения, удерживая равновесие и преодолевая возможные нагрузки. При разработке кинематической схемы экзоскелета, а также при ресурсных испытаниях необходимо понимать, какие возникают нагрузки в кинематических парах и в какой динамике они действуют. Необходимо иметь схему и техническое решения для моделирования этих нагрузок различной величины и направленности.

**Цель** – моделирование движений при ресурсных испытаниях экзоскелета медицинского назначения на велостенде с приводом на педали (кривошип) в среде RecurDynStudent; определение инерционных реакций в кинематических парах.

В качестве расчетной схемы примем работу одного педипулятора экзоскелета (рис. 1). Точка  $D$  неподвижна и является сиденьем велостенда, точка  $O$  также является неподвижной и связана с точкой вращения кривошипа велопривода. Неподвижные точки соединены звеньями: кривошипом  $OB$ , шатуном (голенью)  $BA$ , коромыслом (бедром)  $AD$ . Точка  $B_1$  является упругой (ригидной) связью между звеньями  $AB_1$  и  $B_1B$ , в среде RecurDynStudent будем задавать её жесткостью пружины вращательного действия.

Кинематика движения звеньев и функции положения определяются из замкнутого векторного многоугольника  $OBAD$ :

$$\overline{OD} = \overline{OB} + \overline{BA} + \overline{AD}$$

и являются стандартными задачами курса теории механизмов и машин.

Для решения задачи в среде RecurDynStudent определим параметры модели по некоторым усредненным данным [2, 3]:  $m_6 = 8,6$  кг,  $m_2 = 4,6$  кг,  $m_c = 1,2$  кг,  $m_{OB} = 0,42$  кг. Положение

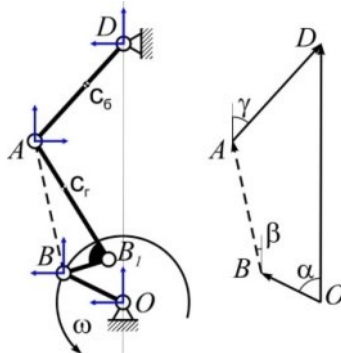


Рис. 1. Расчетная схема привода педипулятора (представлена структурно)

центров тяжести  $c_6$  и  $c_2$  определим исходя из антропометрических данных: на расстоянии  $0,44l_6$  от тазобедренного сустава; голени на расстоянии  $0,42l_7$  от коленного сустава. Длины звеньев: длина бедра  $l_6 = 0,41$  м, голени –  $l_2 = 0,5$  м. Коэффициент жесткости в шарнире  $B_1K_R = 800$  Н·м/рад, коэффициент демпфирования  $C_R = 20$  Н·м·с/рад. Входным звеном будет являться кривошип с угловой скоростью 1 оборот в секунду, угловое вращение кривошипа будем считать постоянным (рис. 2).

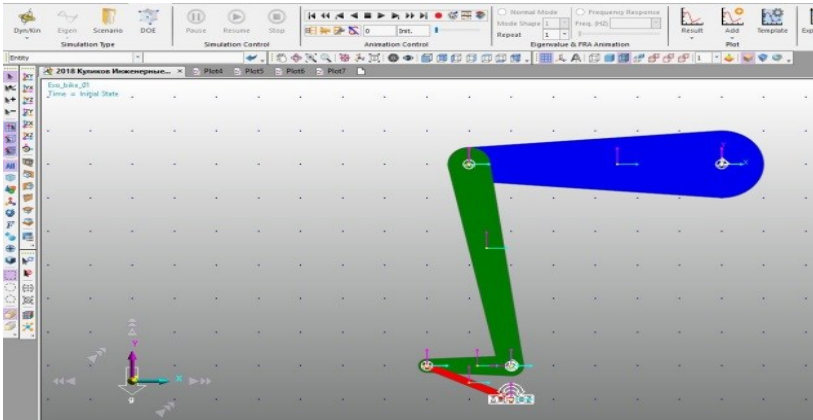


Рис. 2. Модель педипулятора в среде RecurDynStudent

Результаты вычислений представим в виде графиков реакций в точках  $D$  (график D\_him),  $A$  (график A\_knee),  $B_1$  (график toe), именно в этих точках находятся подшипники приводов. Для наблюдения цикличности нагрузки представим графики для двух оборотов кривошипа (рис. 3-5). Реакции по оси  $x$  представлены пунктиром.

Результаты моделирования позволяют сделать следующие **выводы**. Тазобедренный шарнир  $D$  (рис. 3) нагружается циклической нагрузкой различной направленности в пределах от 155 до -115 ньютонов. Коленный шарнир  $A$  (рис. 4) имеет нагрузку от 115 до -190 ньютонов. Голено-стопный шарнир (рис. 5) – от 320 до -155 ньютонов.

При ресурсных испытаниях важно соблюдать величину нагрузок в кинематических парах по аналогии с реальными нагрузками во время работы экзоскелета. В данном техническом решении увеличение или уменьшение нагрузки на подшипник можно достичь путём увеличения угловой скорости кривошипа, увеличив таким образом инерционные силы, возникающие в шарнирах.



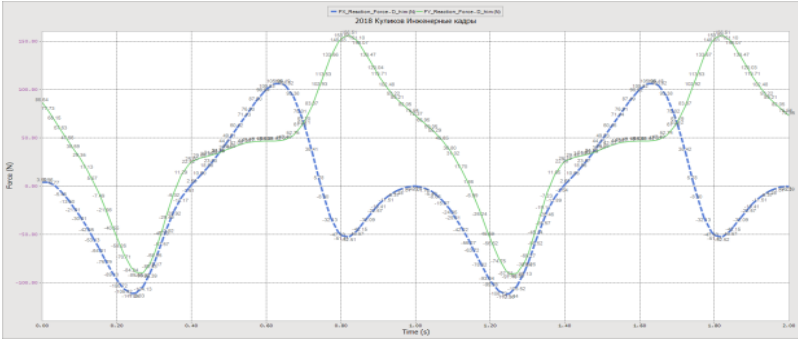


Рис. 3. Реакции в шарнире D

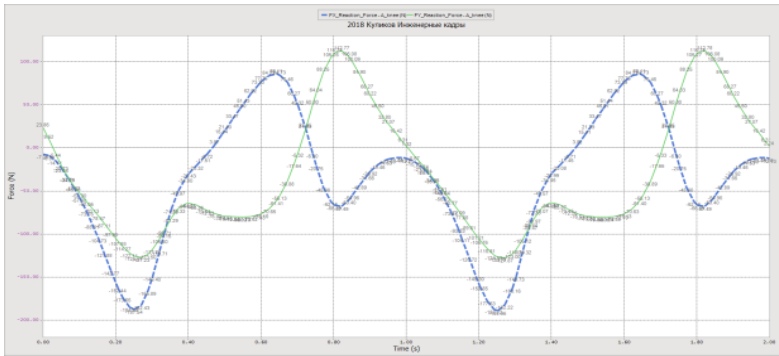


Рис. 4. Реакции в шарнире A

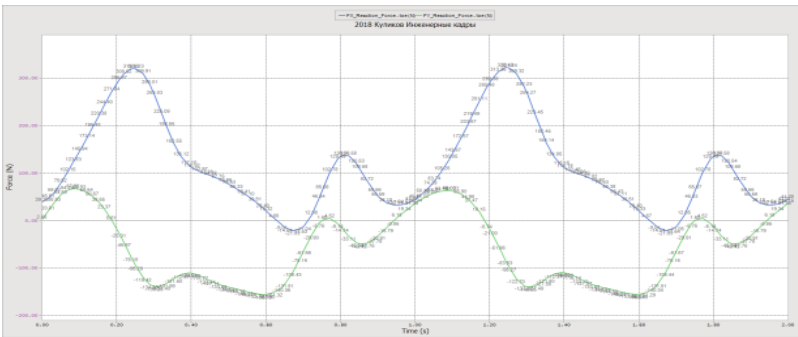


Рис. 5. Реакции в шарнире B<sub>1</sub>

Техническое решение является оригинальным и может быть применено при определении ресурса и динамики износа подшипников в кинематических парах экзоскелета медицинского назначения.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)), шифр 2017-218-09-1807, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.*

### **Список литературы**

1. Компьютерное моделирование регулярной ходьбы на основе кинематического анализа движений и синтеза алгоритмов управления экзоскелета / Ю. В. Лоскутов, А. В. Капустин, К. С. Ключев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 3 (35). – С. 47-60.
2. Winter, David A. Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – JOHN WILEY & SONS, INC., 2009 – 370 p.
3. Заиорский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В. М. Заиорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.

УДК 620.9

**Курицына Кристина Сергеевна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ПТСм-1-17

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ БАЗ НА ЛУНЕ**

**Цель работы** – исследование проблем и перспектив построения жилых и общественных баз на Луне.

**Актуальность.** Строительство лунной базы остаётся одной из главных стратегических целей российской космонавтики на ближайшие десятилетия, несмотря на непростую ситуацию с финансированием космической отрасли и, в частности, лунной программы. По нынешним планам, отправка космонавтов на Луну произойдёт в 2030-е годы. Примерно в эти сроки постоянные базы там планируют построить США

(начало добычи ресурсов на Луне запланировано после 2020 года), Китай (первый полёт после 2020-го), Япония (после 2020-го) и Европейское космическое агентство (после 2025 года) [1].

Для обеспечения длительного активного функционирования персонала на Луне и исследования спутника нужен жилой модуль. Варианты его построения:

1) на поверхности Луны. Преимуществом данного варианта является простота сооружения конструкции, недостатком же оказывается огромный перепад температуры в дневное и ночное время (от  $-160$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ );

2) на глубине 1 м. Недостатком является проблема установки конструкции внутри лунных пород, преимущество – постоянная температура ( $-35^{\circ}\text{C}$ ), что позволяет применять земные теплоизоляционные технологии [2].

Причины колонизации:

1) Для учёных лунная база – уникальное место для проведения научных экспериментов в области планетологии, астрономии, космологии, космической биологии и других дисциплин. Изучение лунной коры важно для исследования эволюции Солнечной системы, появления жизни.

2) Отсутствие атмосферы позволяет строить на лунной поверхности оптические и радиотелескопы, способные получить гораздо более детализированные изображения, чем это возможно с земных телескопов. Строительство таких телескопов обойдется дешевле, чем развертывание космических обсерваторий, таких как «Хаббл». К тому же их гораздо проще обслуживать и модернизировать.

3) Лунная база может использоваться как перевалочный пункт для межпланетных и межзвёздных космических миссий и как космопорт.

4) Наличие на Луне полезных ископаемых, запасы которых на Земле подходят к концу (гелий-3) или доставка которых на орбиту слишком дорого обходится (железо, алюминий, титан). На Луне найдены залежи водяного льда – источника воды, кислорода, водорода. В некоторых случаях проще использовать лунный материал, чем доставлять его с Земли [3].

Освоение Луны наиболее целесообразно начать в высокоширотных районах, разместив там базы. По словам старшего научного сотрудника астрономической обсерватории Харьковского национального университета, кандидата физико-математических наук Ларисы Старухиной, в данных районах высока концентрация атомов солнечного ветра, имплантированных в грунт, в том числе атомов изотопа гелия-3. А они являются потенциальным горючим для термоядерных реакторов будущего (в том числе перспективных ракетных двигателей). При низких температурах внедренные атомы оказываются «вмороженными» в частицы грунта. Таким образом, эти районы Луны могут стать своего рода

заправочными комплексами для межпланетных кораблей. В настоящее время идут интенсивные разработки технологий промышленного получения металлов, кислорода и гелия-3 из реголита – лунного вещества. Кроме того, Луна обладает рядом таких полезных ископаемых, как железо, алюминий, титан, что дает возможность развернуть масштабную промышленную деятельность. Глубокий вакуум и дешёвая солнечная энергия позволяют реализовать технологии в области электроники, металлообработки и материаловедения на совершенно новом уровне.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать **вывод**, что запасы полезных веществ на Луне, конечно, велики, но нужда в привозе их с Земли все-таки возникнет. Вся проблема в том, как из лунных пород добывать не только строительный материал для лунных жилищ, но и все полезные химические вещества, обеспечивающие успешную работу лунных поселений. Будущая лунная индустрия обеспечит не только нормальную жизнь лунным поселениям, но и послужит основой для бурного развития науки в лунном мире.

#### **Список литературы**

1. Большая энциклопедия поделок. – М.: Росмэн-Пресс, 2006. – 192 с.
2. Курицына, К. С. Способы и особенности построения теплоэнергетических комплексов на Луне / К. С. Курицына // Материалы XII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам: в 2 ч. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – Ч. 1. - С. 147-148.
3. Курицына, К. С. Система теплоснабжения жилого модуля на Луне / К. С. Курицына // Материалы XI международной молодежной научной конференции по естественно-научным и техническим дисциплинам: в 2 ч. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – Ч. 1. – С. 210-211.

УДК 621.6

**Курочкина Кристина Юрьевна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (бакалавриат), гр. ТТ-31

Научный руководитель **Поздеев Анатолий Геннадиевич,**

д-р техн. наук, профессор кафедры энергообеспечение предприятий  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

### **РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОПРОВОДА**

**Актуальность.** В настоящее время существует необходимость совершенствования методов расчета систем теплоснабжения объектов

гражданского назначения, особенно в области автоматизации определения технико-экономических показателей эффективности прокладки теплопроводов. Повышение стоимости энергоносителей делает актуальной проблему подобных расчетов.

В связи с этим разработана автоматизированная методика расчета технико-экономических показателей прокладки теплопроводов представляет собой актуальную задачу.

**Целью работы** является автоматизация расчетов экономических показателей прокладки подземных участков тепловых сетей в среде Mathcad.

**Объектом проектирования** служат непроходные подземные участки тепловых сетей малых производственных предприятий.

**Методы исследования** основаны на положениях теории теплопередачи и информационных технологий.

Расчет экономических показателей базового объекта произведен на прокладку теплопровода длиной 150 м с наружным диаметром труб 57 мм.

В качестве базового варианта укладки трубопровода выбрана теплоизоляция на основе минеральной ваты типа ВМТ.

Длина трубопровода  $L_T = 150$  м.

Стоимость прокладки единицы длины трубопровода  $C_{ПЕД} = 2080$  р.

Эксплуатация машин с оплатой труда механизатора на единицу длины трубопровода  $C_{МЕД} = 31,93$  р.

Объем минеральной ваты типа ВМТ на единицу длины трубопровода  $W_{ВЕД} = 0,094$  м<sup>3</sup>.

Стоимость м<sup>3</sup> минеральной ваты  $C_{ВЕД} = 560$  р.

Объем разработки грунта в траншеях  $W_T = 12$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1000 м<sup>3</sup> разработки грунта в траншеях  $C_T = 4892,15$  р.

Объем засыпки траншей  $W_T = 0,0023$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1000 м<sup>3</sup> засыпки траншей  $C_3 = 102,22$  р.

Объем работ по устройству основания трубопровода  $W_O = 1,4$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1 м<sup>3</sup> работ по устройству основания трубопровода  $C_O = 102,22$  р.

Объем работ по контролю качества сварных соединений  $W_K = 2$  м.

Стоимость работ 1 м работ по контролю качества сварных соединений  $C_K = 97,52$  р.

Общая стоимость прокладки трубопровода

$$\Sigma C_{П} = C_{ПЕД} L_T = 3,12 \times 10^5 \text{ р.}$$

Общая стоимость эксплуатации машин с оплатой труда механизатора  $\Sigma C_M = C_{МЕД} L_T = 4,79 \times 10^3$  р.

Общая стоимость минеральной ваты  
 $\Sigma C_B = W_{BED} \cdot C_{BED} = 7,896 \times 10^3$  р.

Общая стоимость разработки грунта в траншеях:  
 $\Sigma C_T = W_T \cdot C_T = 5,871 \times 10^4$  р.

Общая стоимость засыпки траншей  $\Sigma C_3 = W_T \cdot C_3 = 0,235$  р.

Общая стоимость работ по устройству основания трубопровода  
 $\Sigma C_O = W_O \cdot C_O = 143.108$  р.

Общая стоимость работ по контролю качества сварных соединений  
 $\Sigma C_K = W_K \cdot C_K = 195.04$  р.

Стоимость общестроительных работ  
 $\Sigma C_{op} = \Sigma C_T + \Sigma C_M + \Sigma C_T + \Sigma C_3 + \Sigma C_O + \Sigma C_K = 3,758 \times 10^5$  р.

Стоимость общестроительных работ с накладными расходами  
 $\Sigma C_{opnp} = 1,3 \cdot \Sigma C_{op} = 4,886 \times 10^5$  р.

Всего по смете  $\Sigma C = \Sigma C_{opnp} + \Sigma C_B = 4,965 \times 10^5$  р.

В состав экономических показателей проектируемого варианта прокладки теплопровода входит длина трубопровода  $L_{ТП} = 150$  м.

Стоимость прокладки единицы длины трубопровода  
 $C_{ПЕДП} = 2080$  р.

Эксплуатация машин с оплатой труда механизатора на единицу длины трубопровода  $C_{МЕДП} = 31,93$  р.

Объем ППУ изоляции на единицу длины трубопровода  
 $W_{ВЕДП} = 0,094$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1 м<sup>3</sup> ППУ изоляции  $C_{ВЕДП} = 824$  р.

Объем разработки грунта в траншеях  $W_{ТП} = 12$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1000 м<sup>3</sup> разработки грунта в траншеях  
 $C_{ТП} = 4892,15$  р.

Объем засыпки траншей  $W_{ТП} = 0,0023$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1000 м<sup>3</sup> засыпки траншей  $C_{ЗП} = 102,22$  р.

Объем работ по устройству основания трубопровода  
 $W_{ОП} = 1,4$  м<sup>3</sup>.

Стоимость 1 м<sup>3</sup> работ по устройству основания трубопровода  
 $C_{ОП} = 102,22$  р.

Объем работ по контролю качества сварных соединений  
 $W_{КП} = 2$  м.

Стоимость работ 1 м работ по контролю качества сварных соединений  
 $C_{КП} = 97,52$  р.

Общая стоимость прокладки трубопровода  
 $\Sigma C_{ПП} = C_{ПЕД} \cdot L_T = 3,12 \times 10^5$  р.

Общая стоимость эксплуатации машин с оплатой труда механизатора  
 $\Sigma C_{МП} = C_{МЕДП} \cdot L_{ТП} = 4,79 \times 10^3$  р.

Общая стоимость минеральной ваты

$$\Sigma C_{ВП} = W_{ВЕДП} \cdot L_{ТП} \cdot C_{ВЕДП} = 1,162 \times 10^4 \text{ р.}$$

Общая стоимость разработки грунта в траншеях

$$\Sigma C_{ГП} = W_{ГП} \cdot C_{ГП} = 5,871 \times 10^4 \text{ р.}$$

Общая стоимость засыпки траншей

$$\Sigma C_{ЗП} = W_{ТП} \cdot C_{ЗП} = 0,235 \text{ р.}$$

Общая стоимость работ по устройству основания трубопровода

$$\Sigma C_{ОП} = W_{ОП} \cdot C_{ОП} = 143,108 \text{ р.}$$

Общая стоимость работ по контролю качества сварных соединений

$$\Sigma C_{КП} = W_{КП} \cdot C_{КП} = 195,04 \text{ р.}$$

Стоимость общестроительных работ

$$\Sigma C_{орн} = \Sigma C_{ПП} + \Sigma C_{МП} + \Sigma C_{ГП} + \Sigma C_{ЗП} + \Sigma C_{ОП} + \Sigma C_{КП} = 3,758 \times 10^5 \text{ р.}$$

Стоимость общестроительных работ с накладными расходами

$$\Sigma C_{орнрп} = 1,3 \cdot \Sigma C_{орн} = 4,886 \times 10^5 \text{ р.}$$

$$\text{Всего по смете } \Sigma C_{П} = \Sigma C_{орнрп} + \Sigma C_{ВП} = 5,002 \times 10^5 \text{ р.}$$

При расчете экономической эффективности следует учесть, что срок службы проектного объекта (30 лет) вдвое превышает срок службы базового объекта (15 лет). На проверку изоляции теплопровода детектором повреждений один раз в пять лет затрачивается 10000 р.

Затраты по базовому варианту составят

$$З_б = 2 \cdot \Sigma C + 3 \cdot 10000 = 1,023 \times 10^6 \text{ р.}$$

Затраты по проектному варианту составят

$$З_п = 2 \cdot \Sigma C_{П} + 6 \cdot 10000 = 3,72 \times 10^5 \text{ р.}$$

$$\text{Экономический эффект } \mathcal{E} = З_б - З_п = 6,51 \times 10^5 \text{ р.}$$

$$\text{Срок окупаемости } T_о = \frac{З_п}{\mathcal{E}} = 0,571 \text{ лет.}$$

**Выводы.** Техничко-экономическое обоснование проектного варианта прокладки теплопровода системы энергообеспечения малого предприятия в среде MathCad показало достаточную эффективность его внедрения в производство. Срок окупаемости проекта составит 0,57 года.

### Список литературы

1. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочное пособие / под. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебное пособие для вузов / Е. Я. Соколов. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Строительные нормы и правила. Тепловые сети: СНиП 41-02-2003. – Изд. офиц. – М.: Минстрой России, 2003. – 44 с.

**Лаптева Ольга Сергеевна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ТТм-21

Научный руководитель **Горинов Юрий Аркадьевич,**

доцент кафедры энергообеспечения предприятий

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

В эксплуатации водяных систем теплоснабжения наиболее распространенный способ отпуска теплоты центральным качественным регулированием не обеспечивает в течение всего отопительного сезона потребителей требуемым количеством тепловой энергии. Поэтому необходимо снабжать потребителей тепловой энергией, учитывая аккумулирующую способность зданий.

Основная **цель проведения испытаний** – получение информации о том, насколько хорошо ограждающие конструкции сохраняют тепло. Способность ограждающих конструкций сохранять тепло характеризуется двумя параметрами: сопротивлением теплопередаче и теплоаккумулирующей способностью здания.

Опыт проводится на специально оборудованном стенде с использованием образцов исследуемого материала. На основании проведенного исследования составляются режимные карты и разрабатываются нормативные характеристики работы элементов системы теплоснабжения.

Измерения плотности тепловых потоков позволяют количественно оценить теплотехнические качества ограждающих конструкций зданий и сооружений и установить реальные расходы тепла через наружные ограждающие конструкции.

Количество тепла, проходящее через поверхность в единицу времени, называется тепловым потоком.

Количество тепла, проходящее через единицу поверхности в единицу времени, называется плотностью теплового потока или удельным тепловым потоком и характеризует интенсивность теплообмена.

Плотность теплового потока – важнейший параметр, определяющий тепловое состояние объекта испытаний, а корректность результатов экспериментов во многом зависит от точности его определения.

Характерной особенностью высокотемпературных теплофизических исследований является интенсивное прохождение процессов, сопут-

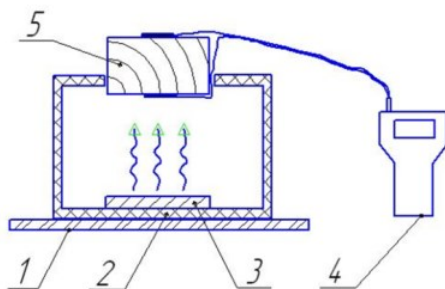


ствующих нагреву, в нестационарном и быстропотекающем режиме. Известно, что поглощательная способность сильно зависит от материала, обработки поверхности, температуры и спектральных свойств поверхности тепловоспринимающего элемента. Измерения плотности тепловых потоков проводят при температуре окружающего воздуха от 243 до 232 К (от минус 30 до плюс 50 °С) и относительной влажности воздуха до 85 %.

Метод измерения плотности теплового потока основан на измерении перепада температуры на «вспомогательной стенке» (пластинке), устанавливаемой на ограждающей конструкции здания. Этот температурный перепад, пропорциональный в направлении теплового потока его плотности, преобразуется в ЭДС батарей термопар, расположенных во «вспомогательной стенке» параллельно по тепловому потоку и соединенных последовательно по генерируемому сигналу. «Вспомогательная стенка» и батареи термопар образуют преобразователь теплового потока.

Плотность теплового потока отсчитывается по шкале специализированного прибора, в состав которого входит преобразователь теплового потока, или рассчитывается по результатам измерения ЭДС на предварительно отградуированных преобразователях теплового потока.

Схема стенда изображена на рисунке 1.



**Рис. 1. Стенд для определения плотности тепловых потоков:**

- 1 – термостойкое основание;
- 2 – термоконтейнер;
- 3 – нагревательный элемент;
- 4 – измеритель плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4;
- 5 – опытный образец исследуемого материала

В исследовании для определения теплотехнических характеристик, а именно сопротивления теплопередаче и термического сопротивления, будет использоваться специальный стенд, который состоит:

- из термостойкого основания;
- термоконтейнера;

- нагревательного элемента;
- измерителя плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4 «Поток».

Термоконтейнер выполнен в форме куба, на верхней грани имеется отверстие для размещения опытного образца материала и устройство для его закрепления.

Внешний вид установки для измерения тепловых потоков изображен на рисунке 2.



Рис. 2. Установка для измерения плотности тепловых потоков

**Методика** проведения исследования:

1. Стенд расположить на горизонтальной поверхности.
2. Подготовленный согласно требованиям руководства по эксплуатации ИТП-МГ4 «Поток» опытный образец закрепить в отверстии термоконтейнера.
3. Закрепить на нижней и верхней грани опытного образца преобразователи температуры и теплового потока согласно требованиям руководства по эксплуатации ИТП-МГ4 «Поток».

4. Включить нагревательный элемент.
5. Поддерживать разность температур внутреннего и наружного воздуха 30...50 °С.
6. Зафиксировать значение плотности тепловых потоков в момент стабилизации показаний на индикаторе прибора.

#### **Список литературы**

1. Мануковская, Т. Г. Отпуск теплоты в централизованных системах водяного теплоснабжения / Т. Г. Мануковская, В. А. Стерлигов, Е. М. Крамченков // 3-я Междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции»: сб. докл. / Моск. гос. строит. ун-т. – М., 2009. – С. 292-295.
2. Дроздов, В. Ф. Отопление и вентиляция: в 2 ч. Ч. 1: Отопление / В. Ф. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1976. – 280 с.
3. ГОСТ 25380-82. Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.
4. Соколов, Е. А. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.

УДК 621.31

**Белавин Алексей Андреевич,**

направление Инноватика (магистратура), гр. Х4214,

*ФГАОУ «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург;*

**Ливанова Татьяна Сергеевна, Коновалов Сергей Николаевич,**

направление Электроснабжение (бакалавриат), гр. ЭЭ-41

Научный руководитель **Белогусев Владимир Николаевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола*

### **КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ РЕДУКТОРА ЭКЗОСКЕЛЕТА**

**Цель** – разработать контрольно-измерительную аппаратуру (далее КИА) для определения момента трогания редуктора экзоскелета медицинского назначения Remotion.

**Актуальность.** Электропривод экзоскелета медицинского назначения состоит:

- из синхронного электродвигателя MaxonMotors, он отличаются высоким КПД и компактным плоским исполнением,

- драйвера MaxonMotors, который управляет электродвигателем;
- волнового планетарного редуктора (далее редуктор), с высоким передаточным отношением.

Для определения момента трогания необходимо решить следующие технические задачи:

- 1) провести анализ и выбрать адекватные метод и средство измерения момента трогания редуктора экзоскелета;
- 2) разработать и реализовать КИА на основе выбранных метода и средства измерения момента трогания редуктора.

Сложность определения механических характеристик состоит в том, что выходная скорость вращения очень мала и измерение нагрузки должно производиться в большом диапазоне, то есть нужны нагрузочные устройства, которые бы работали с малыми оборотами и большим диапазоном нагрузок.

**Решение.** Проведенный анализ существующих методов и средств определения момента трогания редукторов показал, что самым точным и доступным является метод определения момента трогания на входном звене редуктора с помощью тарированных гирек.

Для определения момента трогания редуктор крепится на опору, в посадочное место прессуется уплотнительное кольцо. На входное звено (вал шестерня) устанавливается подшипник 1000802 (15×24×5) ГОСТ 8338-75, далее на него поочередно устанавливаются фланцы диаметром 57 и 107 мм для создания различного плеча  $R$ . Затем входное звено с установленным подшипником и фланцем сажаются на уплотнительное кольцо. На фланец наматываются два оборота от 0,65 (для фланца с диаметром 57 мм) или 1,3 метра (для фланца с диаметром 107 мм) металлической проволоки диаметром 0,3 мм ГОСТ 3282-74 (заменитель: леска 0,3 мм, такой же длины). Одни концы проволоки крепятся к фланцам с помощью отверстий на торце, другие концы проволоки крепятся к измерительным чашам от подвесных чашечных весов. Определяется масса измерительных чаш. От начала и до

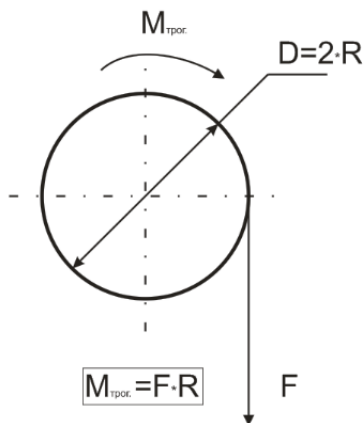


Рис. 1. Схема приложения сил для тестирования момента трогания редуктора

конца исследования момента трогания редуктора его выходное звено должно совершить один полный оборот. Один оборот выходного звена редуктора с передаточным отношением 100 должен быть равен пятидесяти измерениям для каждого из двух фланцев, то есть одно измерение на два оборота входного звена редуктора.

Для доказательства работоспособности и надежности КИА необходимо рассмотреть схему приложения сил для определения момента трогания редуктора (рис. 1).

Для определения момента трогания  $M_{\text{трог}}$  редуктора входное звено нагружают силой  $F$  через плечо  $R$  с помощью фланца, пока момент трогания  $M_{\text{трог}}$  не преодолест силы внутреннего сопротивления редуктора и не начнется равноускоренное вращение фланца.

Для определения момента трогания  $M_{\text{трог}}$  необходимо знать значение радиуса фланца  $R$  и определить силу  $F$ . Сила  $F$  равна произведению общей массы  $m$  на ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Общая масса  $m$  равна сумме масс измерительной чаши и тарированных гирек, находящихся в измерительной чаше в момент трогания фланца под действием силы  $F$ .

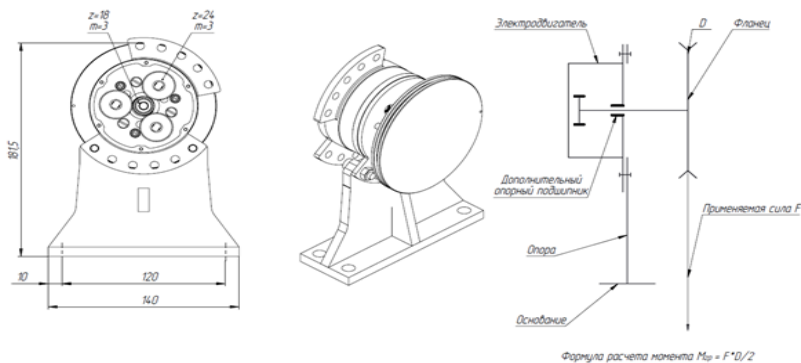


Рис. 2. Схема КИА для определения момента трогания планетарного волнового редуктора

**Вывод.** Как видно из схемы КИА для определения момента трогания редуктора, она довольно проста и надежна, и ее работоспособность не может вызывать сомнения.

#### Список литературы

1. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов. – М.: Высш. шк., 1999. – 400 с.

2. Левитский, Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М.: Наука, 1979. – 576 с.

3. Решетов, Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 655 с.

УДК 621.31

**Лежнин Дмитрий Васильевич,**

направление Конструирование и технология электронных средств  
(магистратура), гр. ЭВСм-11

**Ливанова Татьяна Сергеевна, Коновалов Сергей Николаевич,**

направление Электроснабжение (бакалавриат), гр. ЭЭ-41

Научный руководитель **Белогусев Владимир Николаевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭКЗОСКЕЛЕТА**

**Цель** – разработать контрольно-измерительную аппаратуру (далее КИА) для определения механических характеристик электропривода экзоскелета медицинского назначения»Remotion».

**Актуальность исследования.** Электропривод экзоскелета состоит:

- из синхронного электродвигателя MaxonMotors, отличающегося высоким КПД и компактным плоским исполнением;
- драйвера Maxon, управляющего синхронным электродвигателем MaxonMotors;
- волнового планетарного редуктора с высоким передаточным отношением.

Механическими характеристиками электропривода являются:

- крутящий момент на выходном звене электропривода;
- КПД редуктора.

Для определения крутящего момента необходимо решить следующие **технические задачи**:

- провести анализ и выбрать адекватные метод и средство измерения крутящего момента на выходном звене электропривода экзоскелета;
- провести анализ и выбрать нагрузочное устройство для создания момента сопротивления на выходном звене электропривода экзоскелета;

- разработать и реализовать КИА на основе выбранных метода и средства измерения крутящего момента, а также нагрузочного устройства.

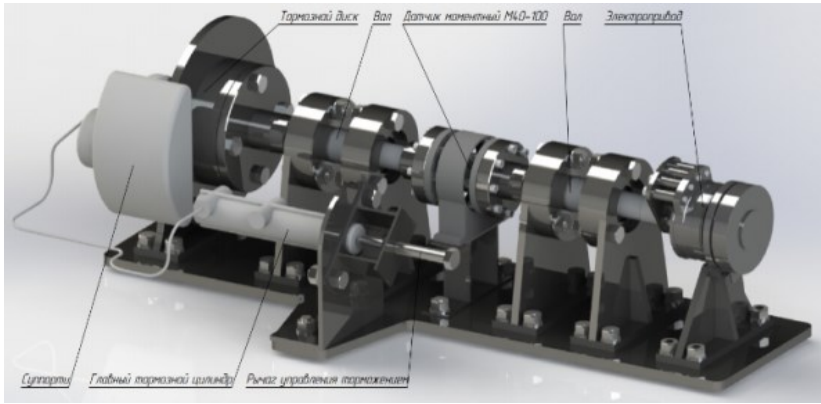
Сложность определения крутящего момента состоит в том, что скорость вращения выходного звена электропривода очень мала. И измерение нагрузки должно производиться в большом диапазоне, то есть нужны нагрузочные устройства, которые бы работали с малыми оборотами и большим диапазоном нагрузок.

**Решение поставленной задачи.** Проведенный анализ существующих методов и средств определения крутящих моментов электроприводов показал, что наиболее часто для их определения применяется тензометрический метод [3].

Для обеспечения высокой точности необходимо выбирать тензометрические датчики высокого качества, изготовленные в заводских условиях, например, М40-100 [2].

В результате анализа существующих нагрузочных устройств для создания момента сопротивления следует отметить, что подходят только механические нагрузочные устройства, но они изготавливаются самостоятельно [1].

Для решения поставленных задач была создана КИА (общий вид представлен на рисунке). КИА разработана вокруг высокоточного датчика крутящего момента М40-100, который измеряет в динамике крутящий момент на выходном звене электропривода в режиме реального времени.



**Общий вид КИА**

Момент сопротивления на выходном звене электропривода создается стандартными деталями от тормозной системы автомобиля ВАЗ. Закручивается болт (рычаг управления торможением), создается давление на поршень главного тормозного цилиндра (далее ГТЦ). Давление поршня создает давление в ГТЦ, которое по тормозной трубке передается поршню суппорта. Поршень давит с помощью тормозных накладок на тормозной диск, который создает момент сопротивления на выходном звене электропривода, после установленного датчика крутящего момента.

Увеличиваем момент сопротивления (закручиванием рычага управления торможением), увеличиваем ток электродвигателя, доводя его до номинального значения.

Значение тока электродвигателя контролируется в программном обеспечении драйвера.

При номинальном токе электродвигателя по паспортным значениям электродвигателя выдаётся номинальный крутящий момент электродвигателя – момент на входном звене редуктора.

При номинальном токе электродвигателя с помощью датчика крутящего момента определяется крутящий момент выходного звена электропривода. Зная его и передаточное отношение редуктора, можно рассчитать КПД редуктора. Умножив КПД редуктора на КПД электродвигателя, получим общий КПД электропривода экзоскелета.

**Вывод.** Разработанная контрольно-измерительная аппаратура позволяет решать все поставленные технические задачи.

### Список литературы

1. Бережной, С. Б. Стендовые испытания механических передач / С. Б. Бережной, А. В. Пунтус, С. А. Метильков // Горная электромеханика и автоматика: науч.-техн. сб. – Днепропетровск: Национальная горная академия Украины, 1999. – С. 285-290.
2. Датчики крутящего момента M40 [Электронный ресурс]: портал ООО «ТИЛКОМ». – Режим доступа: <http://www.tilkom.com/production/gauges/torque/m40>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Драган, А. В. Диагностика зубчатых передач и механизмов по кинематическим параметрам / А. В. Драган // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2001. – №4. – С. 2-6.



УДК 664.71

**Лисютенко Сергей Дмитриевич,**

направление Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование  
в сельском, лесном и рыбном хозяйстве, гр. Тса-21

Научный руководитель **Назаров Игорь Васильевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры механизации и технологии переработки  
сельскохозяйственной продукции

*Азово-Черноморский инженерный институт, г. Зерноград*

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

В настоящее время для химической обработки полей используются наземный транспорт и авиация. Применение *наземного транспорта* связано с рядом недостатков, к которым следует отнести значительные затраты средств и времени. Помимо этого в результате использования наземного транспорта происходит уплотнение почвы, имеются сложности маневрирования. В процессе маневрирования возможно повреждение сельскохозяйственных культур.

Применение *сельскохозяйственной авиации* позволяет значительно сократить затраты времени и средств на проведение полевых работ, не оказывает негативного воздействия на грунт и растения.

По причине высокой эффективности применение авиации допускает в сжатые сезонные сроки проверять численность вредителей, предотвращать появление различных заболеваний, бороться с сорными растениями, когда наземная техника не имеет возможности выйти в поле из-за высокой влажности почвы, повышать качество урожая с помощью своевременных внесений подкормок, не травмируя растения. Кроме того, авиация остается незаменимой в борьбе с особо опасными вредителями — саранчой и луговым мотыльком, а также для обработки высокостебельных растений, например, кукурузы [1, 3].

Однако использование сельскохозяйственной авиации имеет ряд недостатков, к которым следует отнести большую цену техники, высокую стоимость на услуги, возможный снос препарата на соседние посевы, запреты на применение некоторых препаратов с помощью авиации, зависимость от погодных условий, большой штат персонала обслуживания, ограниченную минимальную высоту, опасность работы вблизи линий электропередач, лесопосадок, сложность получения лицензий и летных документов. Кроме того, для самолетов требуется взлетно-

посадочная полоса. Все это ограничивает применение авиации в сельскохозяйственном производстве [2].

На наш взгляд, одним из перспективных направлений является использование комплекса *беспилотных летательных аппаратов* (БПЛА) для обработки полей.

БПЛА могут быть использованы для оценки физико-биологического состояния сельскохозяйственных культур, позволяют выявлять дисбаланс микроэлементов, устанавливать возможные потери биопродуктивности путем прямого определения содержания тех или иных элементов в листе и почве. При помощи проведенных исследований можно осуществлять точный подбор удобрений для листовой подкормки, точно отвечающих потребностям растений в конкретных почвенно-климатических условиях.

Комплекс БПЛА позволяет сократить расходы на средства внесения удобрений и химикатов, создание электронных карт полей, инвентаризацию сельхозугодий, инспекцию объема работ и контроль их выполнения, проведение оперативного анализа состояния посевов. Использование БПЛА дает возможность быстро и эффективно строить карты полей по всходам, определять индекс вегетации (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index).

Применение автоматизированного комплекса БПЛА позволяет также избежать необходимости длительного ручного управления человеком по заранее установленному маршруту – к примеру, в тех задачах, в которых конечной целью является обработка полей пестицидами.

Одно из высокоперспективных направлений изучения в отрасли эксплуатации БПЛА – создание группировки аппаратов с адаптивным искусственным интеллектом. Потребность в таком комплексе возникает непосредственным образом при решении ряда реальных задач [3].

В качестве модели проанализируем задачу обработки полей при помощи группы беспилотных летательных аппаратов.

Один БПЛА не в состоянии обработать обширную территорию. В то же время автоматизированной группе удаётся успешно преодолеть эти трудности путём распределения рабочих зон.

Также заслуживает внимания система, в которой перед группой ставилась задача проложить на основе искусственного интеллекта свободный от преград маршрут движущихся аппаратов из одной части поля в другую. Эта работа представляет большую возможность использования групп БПЛА в сельском хозяйстве.

Наконец, при выполнении работ, в которых существует вероятность отказа одного или нескольких аппаратов, использование группы аппа-

ратов с адаптивным искусственным интеллектом повышает возможность качественного завершения работ.

В настоящее время для построения распределённых рабочих зон чаще всего используется подход с помощью многочисленных интеллектуальных аппаратов. Такой подход позволяет построить системы со сложной рабочей архитектурой, причем рабочие агенты данной системы – отдельные аппараты – могут руководствоваться весьма простыми стратегиями. Среди преимуществ этого метода следует отметить то, что он допускает адаптивное перераспределение задач между аппаратами в группе и динамическое изменение общего трудового поведения [4, 5].

Разработанные на сегодняшний день БПЛА существенно разнятся по своим летным размерам, характеристикам и многим иным показателям. В то время как одни аппараты лишь немногим уступают в размерах современным турбореактивным истребителям, иные способны держаться в руках даже подросток. В настоящей работе рассматриваются прежде всего виды малых и сверхмалых беспилотных устройств. В основном это небольшие устройства, работающие на электродвигателях, способные исполнять задачи слежения за объектами, аэрофотосъёмки территорий, сбора данных и многое другое.

**Выводы.** Преимуществом предлагаемого метода по сравнению с применяемыми в настоящее время являются уменьшение затрат времени на проведение изучения сельскохозяйственных угодий и выработку соответствующих рекомендаций, возможность корректировать питание растений. Это позволяет сохранить до 20 % урожая и более, что увеличивает урожайность культур и повышает эффективность фермерского хозяйства. Кроме того, применение комплекса БПЛА позволяет сократить расходы на средства внесения удобрений и химикатов, дает возможность предоставлять услуги по анализу и оценке сельскохозяйственных культур, повышает эффективность работы агронома в области анализа посевов в 2...3 раза [6, 7].

### Список литературы

1. Беспилотные летательные аппараты: справочное пособие / сост.: М. С. Иванов и др. – Воронеж: Научная книга (НК), 2015. – 619 с.
2. Павлишенко, М. И. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / М. И. Павлишенко, Г. М. Евстафьев, И. К. Макаренко. – М.: Права человека, 2005. – 612 с.
3. Токарев, Ю. П. Методы управления беспилотными летательными аппаратами в общем воздушном пространстве с использованием полетной информации при автоматическом зависимом наблюдении: дис. ... канд. техн. наук / Ю. П. Токарев. – СПб.: СПб. гос. университет гражд. авиации, 2005.

4. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / П. П. Афанасьев, И. С. Голубев, В. Н. Новиков [и др.]; под ред. И. С. Голубева и И. К. Туркина. – Изд. второе, перераб. и доп. – М., 2008. – 656 с.

5. Проблематика разработки перспективных малогабаритных летающих роботов / А. С. Кулик, А. Г. Гордин, В. В. Нарожный [и др.]. – Харьков: Харьковский авиационный институт, 2006. – С. 1-33.

6. Сухачев А. Б. Беспилотные летательные аппараты. Состояние и перспективы развития / А. Б. Сухачев. – М.: МНИТИ, 2007. – 60 с.

7. Исследование технико-экономических характеристик перспективных комплексов беспилотных летательных аппаратов / А. Б. Сухачев [и др.] // Электросвязь. – 2008. – № 5. – С. 16-20.

УДК 621.85-52; 531/534

**Лоскутов Михаил Юрьевич,**

направление Прикладная математика и информатика (бакалавриат), гр. 09-812  
*ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань*

**Вавилов Алексей Сергеевич,**

направление Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих  
производств (бакалавриат), гр. ТЛДП-22

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

Научный руководитель **Лоскутов Юрий Васильевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКЗОСКЕЛЕТА**

В процессе доводки конструкций изделий требуется проведение лабораторных испытаний на надежность – ресурсных испытаний. Их проводят для определения или оценки технического ресурса как изделия в целом, так и отдельных его элементов. Данные испытания выполняются как самостоятельные, так и в ходе периодических или приемочных испытаний в зависимости от назначения изделий.

В процессе испытаний проверяют параметры, предусмотренные техническим заданием на проектирование, в том числе:

- вращающие моменты на всех режимах работы, предусмотренных штатной работой при различных частотах вращения валов;
- гамма-процентный ресурс работы передач и подшипников;
- способность изделия выдерживать пусковые или другие перегрузки;
- прочность валов и шпоночных (шлицевых) соединений;
- способность работать при приложении к валам консольных нагрузок;
- характеристики виброактивности и уровень шума;
- соответствие параметров электродвигателя установленным критериям.

Экзоскелет используется как для увеличения возможностей здорового человека, так и для помощи больным с нарушениями опорно-двигательного аппарата [1]. При запуске экзоскелета в производство необходимы его ресурсные испытания. Проведение их в штатном режиме эксплуатации (ходьба, присед) опасно для оператора, требует больших помещений и затрат человеко-часов операторов, ассистентов, следящих за балансом равновесия и безотказностью систем человек-экзоскелет (или весовой манекен-экзоскелет). Поэтому **актуальность работы** обусловлена необходимостью разработки стационарных методик испытаний экзоскелета, позволяющих эквивалентно воссоздать различные циклы работы, в том числе в форсированном режиме, исключая перемещение в пространстве.

**Цель работы** – оценка возможности и обоснование испытаний электромеханических частей привода реабилитационного экзоскелета медицинского назначения (РЭМ) на велостенде.

**Методика и результаты исследования.** Выполним расчетное обоснование эквивалентности по энергетическим показателям режимов работы экзоскелета с весовым манекеном при педалировании на велотренажере и ходьбе с пациентом.

Критериями эквивалентности движений в шарнире принимаются:

- среднеквадратичный момент  $M_{\text{экс}} = \sqrt{\frac{\sum t_i M_i^2}{\sum t_i}}$ , Нм;
- эквивалентная мощность  $P_{\text{экс}} = \sqrt{\frac{\sum t_i P_i^2}{\sum t_i}}$ , Вт;
- средняя частота оборотов между звеньями  $n_{\text{cp}} = \frac{\sum t_i n_i}{\sum t_i}$ , об/с.

Для оценки возможности ресурсных испытаний РЭМ на велотренажере рассмотрим параметры педалирования: частоту и шаг. Эти пара-

метры имеют аналоги в других видах функциональных движений, например, при ходьбе по горизонтальной поверхности [2-3]. Анализ ходьбы [2, 4] показывает, что удельную работу  $\tilde{A}$  (приходящуюся на единицу пути), развиваемую при ходьбе мощность  $P$  и оптимальную длину шага  $L_{\text{опт}}$  можно рассчитать по формулам

$$\tilde{A} = \left( \frac{mgL}{4h} \right) + \left\{ 4\mu \frac{mgh}{L} (Fr)^2 \right\}; \quad (1)$$

$$\tilde{A}_{\text{опт}} = 2 \cdot m \cdot g \cdot (Fr) \cdot \sqrt{\mu}; \quad (2)$$

$$P = \left( \frac{mgL}{4h} v \right) + \left\{ 4\mu \frac{m}{L} v^3 \right\}; \quad (3)$$

$$L_{\text{опт}} = 4 \cdot v \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot h}{g}}, \quad (4)$$

где  $m$  – масса человека;  $g$  – ускорение свободного падения;  $L$  – длина шага;  $h$  – вертикальная координата положения центра масс;  $\mu = \frac{m_{\text{югу}}}{m_{\text{корп}}}$  –

отношение массы ноги к массе корпуса;  $Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$  – число Фруда;

$v$  – скорость передвижения.

Первые члены уравнений (1) и (3) в круглых скобках определяют работу и мощность, затрачиваемые на поддержание тела, вторые члены (в фигурных скобках) – на перенос ноги. Численные решения уравнений (1-4) [3] показали, что при  $h = 1$  м и  $v = 1,25$  м/с (или 4,5 км/ч) оптимальная длина шага при ходьбе составляет  $L_{\text{опт}} = 0,7$  м при частоте шага  $f_{\text{опт}} = 105,3$  шаг/мин. При этом мощность будет составлять  $P_{\text{мин}} = 150$  Вт.

Отмечено [4], что оптимальный шаг при ходьбе приблизительно равен шагу педалирования, то есть четырехкратной длине кривошипа. Стандартная длина кривошипа гоночного велосипеда равна 0,171 м (6,75") или 0,178 м (7,0"). Таким образом, шаг педалирования составляет соответственно 0,684 или 0,712 м. При аналогичной мощности ( $P = 150$  Вт) езда на велосипеде с частотой педалирования  $f = 105,3$  об/мин позволяет развить скорость 24 км/ч.

Такое совпадение не является случайным. Закономерность получена в результате стремления конструкторов велосипеда и спортсменов-велогонщиков к максимальной экономичной организации функционального движения. В теории ходьбы и педалирования велосипеда ученые шли разными путями в поиске оптимальных решений и получили общий результат: оптимальные по мощности шаг ходьбы и шаг педали-

рования приблизительно равны между собой при одинаковой частоте функциональных движений.

На основе анализа графиков движений и табличных данных [2, 4, 5], аппроксимации полученных результатов получено сопоставление основных параметров движений.

### Сопоставление движений по энергозатратам

Вид движения	Сустав	Момент	Частота	Мощность $P_{\text{экв}}$	
		$M_{\text{экв}}$	оборотов $n_{\text{ср}}$	относит.	суммарн.
		Нм	об/мин	Вт	
Ходьба	Скорость 4,5 км/ч, мощность $P_{\text{полезн}}$ 150 Вт				
	тазобедренный	30,5	24,24	73,29	165,68
	коленный	25,38	60,54	92,39	
Вставание	тазобедренный	68,52	5,07	103,25	253,81
	коленный	66,24	1,09	150,56	
Присед	тазобедренный	50,24	5,67	37,13	152,00
	коленный	68,79	1,45	114,87	
Педалирование велосипеда	Скорость 24 км/ч, $P_{\text{полезн}}$ 150 Вт				
	тазобедренный	24,73	21,74	70,07	125,43
	коленный	20,99	56,43	55,36	

### Выводы

1. Сопоставление значений основных параметров локомоций (ходьба, вставание-присед и велопедалирование) дает небольшие расхождения наибольших эквивалентных моментов, средних межзвенных частот оборотов и эквивалентных мощностей в шарнирах при сходных энергозатратах.

2. По энергетическим показателям режимов работы экзоскелета с весовым манекеном локомоции (ходьба, вставание-присед и велопедалирование) вполне могут быть эквивалентны при правильном выборе параметров движений.

3. На основании вышеизложенного использование велотренажера для проведения испытаний на надежность экзоскелета вполне может быть допустимо.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированно-*

го экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)), шифр 2017-218-09-1807, утверждённого по постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

### Список литературы

1. Состояние рынка интеллектуальной собственности экзоскелетов для роботизированной реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей / И. Н. Багаутдинов, В. А. Грязин, Ю. В. Лоскутов, Н. Г. Вичужанина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. – 2017. – № 3 (35). – С. 90-96.
2. Winter, David A., Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – JOHN WILEY & SONS, INC., 2009 – 370 p.
3. Белецкий, В. В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления / В. В. Белецкий. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
4. Любвицкий, В. П. Гонимые велосипеды / В. П. Любвицкий. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 319 с.
5. Турлапов, Р. Н. Модели и алгоритмы управления движением экзоскелета для вертикализации и расширения функциональных возможностей человека: дис. ... канд. техн. наук / Р. Н. Турлапов. – Курск: ФГБОУ ВО «Юго-Запад. гос. ун-т», 2015. – 172 с.

УДК 621.9.047.7

**Ляхов Антон Александрович,**

направление Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат),  
гр. МТМм-11

Научный руководитель **Крашенинникова Надежда Геннадьевна,**  
канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПОЛИРОВКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

**Цель работы** – поиск альтернативных решений по замене обычной механической полировки при обработке труднодоступных мест, таких как отверстия, резьбы, контакты.

**Актуальность.** Производство изделий часто сопряжено с необходимостью очистки поверхности от оксидных пленок, удаления заусенцев, пригаров и т.п., при этом многие детали имеют сложную форму, малый размер или содержат элементы, недоступные для обычной полировки.



*Механическая полировка* – это достаточно трудозатратный процесс, часто не обеспечивающий возможности обработки определенных конструктивных элементов. Кроме того, после такой обработки обычно есть необходимость промывки деталей в специальных установках (например, ультразвуковых) для получения зеркальной поверхности.

Химический и электрохимический методы являются достаточно распространенными видами обработки поверхности деталей для придания им необходимых свойств и внешнего вида.

*Химическая полировка* происходит следующим образом: деталь погружают в химический раствор и выдерживают определенное время, соблюдая температурный режим. Результатом протекания химических процессов является растворение микронеровностей и получение гладкой поверхности. Одним из основных преимуществ химической полировки является ее скорость. Однако данный способ не дает зеркального блеска.

Альтернативой может быть *электрохимическое полирование*. Оно подразумевает такое же погружение деталей в раствор определенного химического состава, но протекает под действием электрического тока. Обрабатываемая деталь является анодом электрохимической системы, т.е. подключается к положительному полюсу источника тока.

Возможность электрохимической полировки основана на том, что растворение поверхностной пленки происходит неравномерно: выступающие участки поверхности растворяются быстрее, чем впадины, в результате шероховатость поверхности уменьшается, а при правильно подобранных режимах и составах электролитов можно получить идеально гладкую поверхность и зеркальный блеск.

К недостаткам этой технологии можно отнести в первую очередь то, что она вредна для человека, поэтому при работе обязательно использовать все необходимые средства индивидуальной защиты. Помимо этого электрохимическая полировка весьма энергозатратна, очень чувствительна к составу электролита, подготовке поверхности деталей, температуре раствора, времени выдержки и плотности тока, пропускаемого через деталь.

**Методика и результаты исследования.** В данной работе решалась проблема обработки деталей из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

В качестве электролита был использован 25 % раствор NaCl.

Предварительно был произведен расчет площади катодов и плотности тока. При площади поверхности детали  $7,02 \text{ см}^2$  площадь катодов должна составлять  $11,7\text{--}23,4 \text{ см}^2$  (соотношение площадей поверхности деталей и катода от 3:5 до 3:10). Обработку проводили при площади катода  $11,7 \text{ см}^2$  и плотности тока  $0,5 \text{ А/см}^2$ .

В результате эксперимента не удалось уменьшить шероховатость поверхности и получить зеркальный блеск, однако для удаления заусенцев в труднодоступных местах, таких как отверстия, данный способ подошел отлично.

**Вывод.** Таким образом, несмотря на отмеченные недостатки, электрохимическая полировка является незаменимой, когда вопрос касается обработки сложных деталей. Для получения оптимальных результатов необходим тщательный выбор состава электролита и режимов проведения процесса.

#### **Список литературы**

1. Атанасянц, А. М. Влияние электрохимического полирования на свойства электротехнической стали / А. М. Атанасянц // Вопросы радиоэлектроники (Серия общетехническая). – 1968. – Вып. 25. – С. 103-110.

2. А.с. 303369 (СССР). Электролит для электрохимического полирования изделий из стали / Ю. М. Волков. – Опубл. в Б.И., МО, 13.05.71.

УДК 656.138

**Мамаева Ольга Эдуардовна,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(магистратура), гр. ЭТМм-12

Научный руководитель **Ласточкин Денис Михайлович,**

канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

### **АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КЛИНОВОЙ ЗАДВИЖКИ**

**Задачи исследования.** Техническая диагностика клиновой задвижки проводится экспертной организацией в соответствии с федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Диагностика предусматривает поиск акустически активных зон либо зон концентрации механических напряжений, а также оценки в этих зонах нарушений металла, таких как «трещина» [1].

**Методика и результаты.** В данной работе представлен принцип проведения анализа повреждений и параметров клиновой задвижки на примере задвижки ПТ11009-1000 НПС «Дубники». Анализ проводится в соответствии с техническим отчетом по результатам технического диагностирования клиновой задвижки.

При проведении диагностики клиновой задвижки ПТ11009-1000 применяются следующие методы неразрушающего контроля:

- визуальный и измерительный контроль;
- магнитометрический контроль;
- капиллярный контроль;
- ультразвуковой контроль (ультразвуковая дефектоскопия, ультразвуковая толщинометрия);
- контроль функционирования;
- твердометрия стенок корпуса и крышки задвижки;
- контроль герметичности затвора задвижки.

Для контроля конструктивных параметров и свойств материала осуществляются измерения толщин стенок и твердости металла.

Анализ технической и эксплуатационной документации клиновой задвижки НПС «Дубники» был проведен согласно требованиям РД-75.200.00-КТН-119-16 и РД-19.100.00-КТН-036-13 (с Изменениями 1) [2]. При проведении анализа документации были получены следующие результаты:

1) технические характеристики и конструкция клиновой задвижки соответствуют ТУ режимов эксплуатации;

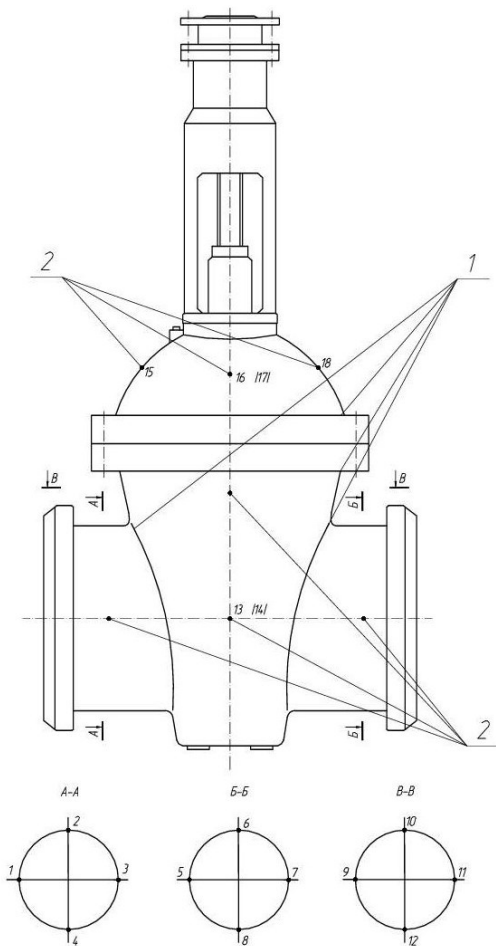
2) за период эксплуатации отклонений и аварий не зафиксировано.

При проверке контроля функционирования, т.е. проверке срабатывания клиновой задвижки на «открытие-закрытие» согласно техническому отчету, был проведен контроль герметичности затвора клиновой задвижки в соответствии с ТУ. Контроль герметичности затвора проводится специализированным ремонтным персоналом АК «Транснефть – Верхняя Волга» в соответствии с требованиями РД-19.100.00-КТН-036-13 (с Изменениями 1). В результате проведения контроля в соответствии с инструкцией протечек нефти через затвор задвижки, шума не зафиксировано [3].

По результатам контроля функционирования в соответствии с ГОСТ Р 55614-2013 и РД-19.100.00-КТН-036-13 (с Изменениями 1) клиновая задвижка ПТ11009-1000 соответствует требованиям нормативно-технической документации и годна к эксплуатации [4].

В соответствии с техническим отчетом, при проведении визуального и измерительного контроля корпуса, крышки, шпилек разъема «корпус–крышка», элементов и фундамента задвижки зафиксированы дефекты, которые не соответствуют критериям допустимости и требуют дальнейшего неразрушающего контроля. Это «наплавка», «задир», «раковина» на основном металле корпуса, крышки и патрубков задвижки, которые не соответствуют требованиями РД -19.100.00-КТН-036-13.

На рисунке представлена схема неразрушающего контроля корпуса клиновой задвижки.



**Схема неразрушающего контроля корпуса клиновой задвижки:**

1 – УЗК в местах концентрации механических напряжений; 2 – точки замера толщины стенки; точки 1...18 – точки измерения толщины корпуса и крышки; замер твердости проводить в точках 3, 8, 9, 13, 16

Магнитометрический контроль задвижки выполняется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, при этом

в процессе выполнения диагностики магнитометрическим методом были выявлены максимально допустимые значения напряженности магнитного поля рассеяния. Из анализа результатов, полученных при проведении диагностики, следует, что и крышка, и корпус клиновой задвижки ПТ 11009-1000 годны к эксплуатации.

Капиллярный контроль клиновой задвижки выполняется по результатам визуального и измерительного контроля и предусматривает обнаружение индикаторных следов, поверхностных несплошностей. Так, согласно проведенной диагностике, элементы контроля зон дефектов, по результатам визуального и измерительного контроля, полностью годны.

Ультразвуковая диагностика предусматривает обнаружение дефектов типа «трещин», «расслоений», «газовых пор». Результаты ультразвуковой диагностики клиновой задвижки ПТ11009-1000 показывают, что обнаруженных дефектов не обнаружено.

**Выводы.** Изучение технологии проведения диагностики клиновой задвижки на основании технического отчета позволяет выполнить поиск мест и повреждений на корпусе и крышке клиновой задвижки, а также оценку текущего технического состояния и уровня поврежденности элементов.

Клиновая задвижка, как можно утверждать вследствие прогнозирования технического состояния, не в полной мере соответствует требованиям федерального закона № 116-ФЗ от 21.07.97 г. (с изменениями) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и находится в ограниченно работоспособном состоянии [5]. Дальнейшая эксплуатация клиновой задвижки допускается не более 1 года в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности.

#### **Список литературы**

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ.
2. РД-75.200.00-КТН-119-16. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций.
3. РД-19.100.00-КТН-036-13 (с Изменениями 1). Правила технического диагностирования и освидетельствования механо-технологического оборудования. Методики технического диагностирования механо-технологического оборудования.
4. ГОСТ Р 55614-2013. Контроль неразрушающий. Толщинометры ультразвуковые. Общие технические требования.
5. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.97 г. (с изменениями).

УДК 67.05

**Морозов Дмитрий Александрович,**  
направление Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств (бакалавриат), гр. ТМп-1501

Научный руководитель **Логинов Николай Юрьевич,**  
канд. техн. наук, заведующий кафедрой оборудования и технологий  
машиностроительного производства  
*ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти*

## **ФРЕЗЕРНЫЙ ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ СТАНОК С ЧПУ МАЛОГО РАЗМЕРА**

**Актуальность и задачи исследования.** Для увеличения технологической оснащённости учебного процесса и для получения возможности участия в инженерных соревнованиях было принято решение о создании на базе кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» Тольяттинского государственного университета трехкоординатного фрезерного станка с ЧПУ. Это даёт возможность использования в учебном процессе действующего технологического оборудования с числовым управлением, а также возможность обучения и участия команды в студенческих соревнованиях по программированию и наладке станков с программным управлением.

**Методика и этапы проекта.** На *первом этапе* разработки проекта был спроектирован трехкоординатный фрезерный станок в графическом редакторе КОМПАС-3D, выходная модель которого представлена на рисунке 1. Для этого студенты были разбиты на группы и создавали сначала двухмерные чертежи узлов станка, а затем, объединившись, разработали трехмерную модель.

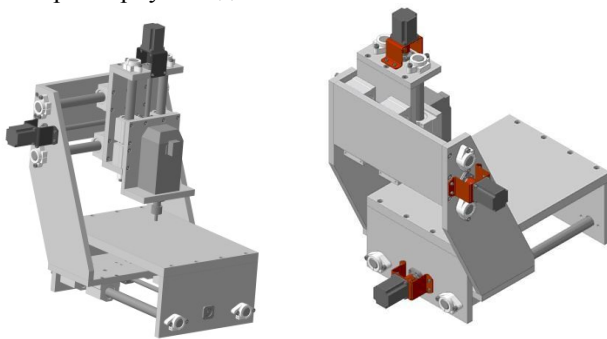


Рис. 1. Модель фрезерного станка

На *втором этапе* разработки проекта после формирования внешнего вида и чертежей было принято решение об изготовлении данного оборудования на базе лабораторий «Металлорежущие станки», «Системы ЧПУ» и «Обработка резанием» Тольяттинского государственного университета. Изготовлению подлежали корпусные детали спроектированного станка, которые обрабатывались на вертикально-фрезерном, универсально-фрезерном и токарно-винторезном станках. Студенты, заранее получившие опыт работы на данном технологическом оборудовании в ходе прохождения учебной практики, изготовили комплектующие детали спроектированного объекта.

*Третий этап* проекта заключался в сборке станка из узлов-агрегатов. Студентами при помощи преподавателей и учебно-вспомогательного персонала кафедры производилась сборка спроектированного оборудования и изготовленных деталей. Особенностью этой задачи была геометрическая точность собираемых узлов, для чего заранее были выполнены отверстия под штифты в деталях. Таким образом, сборщикам было удобно сопрягать и скреплять необходимые компоненты.

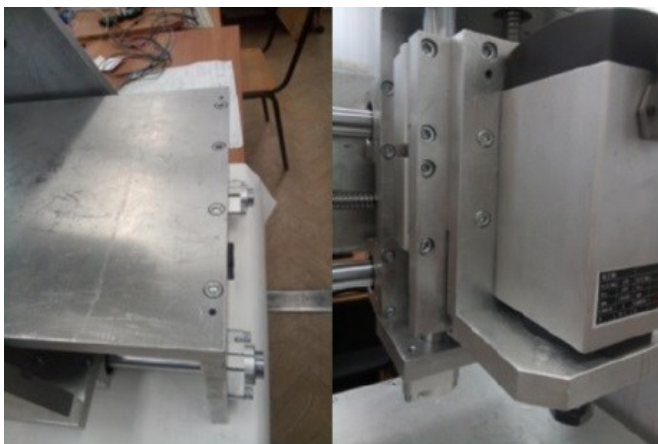


Рис. 2. Установка штифтов

Изготовление отверстий (рис. 2) и выполнение резьбы для окончательного винтового соединения соединяемых компонентов осуществлялось в деталях в собранном на штифты состоянии. Это дало возможность точно выполнить концентричность нескольких отверстий.

*Четвертым этапом* проекта являлась пуско-наладка собранного станка. Система управления (ЧПУ) была выбрана «Mach 3» в связи с ее

простотой и доступностью. На этом этапе студентами выполнялась подготовка и настройка перемещения трех линейных координат для движений подачи, имеющих в механическом приводе по две направляющие и шариковые винтовые пары (рис. 3). Движение винтам передается от шаговых электродвигателей. На этом же этапе проводилась настройка главного движения станка (вращение шпинделя).

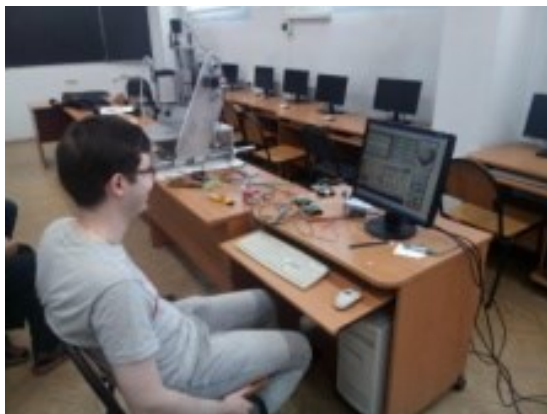


Рис. 3. Настройка движений станка от системы ЧПУ

**Вывод.** В результате выполненного проекта студентами проведены конструкторско-технологические, инженерные и сборочные работы по созданию трехкоординатного фрезерного станка с ЧПУ малого размера. Это даёт возможность использования его в ходе обучения студентов направлений подготовки 15.03.01 «Машиностроение» и 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» как для осуществления практико-ориентированного обучения по таким дисциплинам, как «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки», «Системы числового программного управления», так и для участия в инженерных студенческих соревнованиях по программированию и наладке станков с программным управлением.

#### Список литературы

1. Образовательная модель проектно-ориентированной подготовки молодых специалистов инженерно-технических направлений в концепции индустрия 4,0 / Д. Г. Левашкин, Н. Ю. Логинов, А. А. Козлов, В. А. Гуляев // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: мате-



риалы IV Международной научно-практической конференции.—Тамбов, 2017. – С. 345-351.

2. Гордеев, А. В. Оптимизация технических параметров при решении инженерных задач / А. В. Гордеев, Н. Ю. Логинов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – Тольятти, 2015. – № 4 (34). – С. 25-30.

3. Левашкин, Д. Г. Обеспечение точности базирования сменных узлов призматической формы на основе анализа размерных цепей обработки их базирующих отверстий / Д. Г. Левашкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение.—Челябинск, 2015.— Т. 15. № 2. – С. 5-12.

4. Михайлов, А. В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств: учебное пособие / А. В. Михайлов, Д. А. Расторгуев, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 336 с.

УДК 620.179.16

**Мукатдаров Алик Альбертович,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника(бакалавриат), гр.ПТ-1-15

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ МЕТАЛЛА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

Неразрушающий контроль (НК) позволяет контролировать различные свойства материалов и качество продукции без нарушения целостности деталей. Многие технологии НК могут использоваться для обеспечения качественного производства и функциональности. Один из таких методов – ультразвуковая дефектоскопия, которая применяется в производственном процессе для того, чтобы гарантировать использование качественных образцов материалов, выявить приповерхностные трещины, а также обеспечить обнаружение критических дефектов.

Ультразвуковая дефектоскопия — это неразрушающий целостности оборудования метод контроля и поиска различных скрытых и внутренних механических несплошностей, недопустимой величины и химических отклонений от заданной нормы. Диагностика ультразвуковым методом применяется для различных видов исследуемых соединений. УЗК является незаменимым при выявлении воздушных пустот, химически

неоднородного состава (шлаковые включения в металле) и обнаружении присутствия неметаллических элементов.

Ультразвуковая диагностика основана на возможности высокочастотных колебаний проникать в структуру металла и отражаться от поверхности дефекта, коррозии, пустот и других несплошностей. Созданная прибором направленная ультразвуковая волна проникает в проверяемое пространство, и в случае обнаружения дефекта происходит ее отклонение от нормального заданного распространения. Квалифицированный оператор УЗК наблюдает это отклонение на дисплее прибора и по определенным показателям даёт свою оценку выявленному дефекту.

Основными достоинствами данного метода являются высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость, безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии), возможность проведения выездной диагностики (благодаря наличию портативных ультразвуковых дефектоскопов). Также во время проведения ультразвукового контроля не требуется выведения контролируемой детали или всего объекта из эксплуатации. При проведении УЗД проверяемый объект не повреждается.

#### **Список литературы**

1. Кретов, Е. Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / Е. Ф. Кретов. – Изд-е. 4-е, перераб. – Санкт Петербург: СВЕН, 2015. – 312 с.
2. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
3. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2017. – 243 с.

УДК 697.34

**Мурзаева Марина Альбертовна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (бакалавриат), гр. ТТ-41

Научный руководитель **Медяков Андрей Андреевич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА**

В современном мире нет ничего вечного. Какого бы прогресса человечества ни достигло, оборудование, даже самое долговечное, может

выйти из строя в любое время. Технологическое развитие теплоэнергетики позволяет использовать тепловые ресурсы намного более эффективно и экономично, чем старые системы. Современное оборудование способно гораздо точнее и рациональнее расходовать тепло, снижать теплопотери, и при этом оно не требует постоянного контроля, дешевле в эксплуатации и стабильнее. Однако до сих пор многие тепловые центры работают по старым принципам. Некоторые из них устарели физически и морально, но это не означает, что их больше нельзя эксплуатировать. Есть отличное решение, как малыми затратами привести существующие системы в надлежащее рабочее состояние, – это модернизация. В данной статье мы более подробно ознакомимся с этим процессом и определим его цели.

Теплоснабжение не стоит на месте. Систематически улучшается технология выработки тепловой энергии, совершенствуются пути и способы ее транспортировки потребителям, процесс распределения и контроля подвергается автоматизации на различных стадиях. Чтобы обеспечить качественное теплоснабжение, без модернизации ЦТП не обойтись. Как правило, реконструкция носит комплексный характер ввиду того, что пункты, построенные 20-30 лет назад, уже успели устареть на всех уровнях.

Модернизация теплового пункта менее затратная, чем создание нового, однако результат превосходит все ожидания. После реконструкции объект становится мощнее и экономичнее. В зависимости от состояния на настоящий момент реконструкция тепловых пунктов может преследовать следующие цели: замена изношенного оборудования на новое; увеличение энергоэффективности; снижение теплопотерь; повышение стабильности системы; снижение вероятности аварий; защита от гидравлических ударов, перепадов напряжения и других изменяющихся условий; повышение уровня комфорта в обслуживаемых зданиях.

Для достижения этих целей применяется ряд мероприятий, таких как замена отдельных узлов и приборов, дополнение теплового пункта автоматическими системами контроля и управления, обновление трубопроводов.

Основные задачи модернизации – организация учета теплопотребления абонентом и сокращение потребления тепловой энергии при улучшении уровня теплового комфорта в обслуживаемых помещениях. Для этого, как минимум, на абонентском вводе устанавливают прибор учета и автоматический регулятор теплового потока, корректирующий отпуск теплоты по погодным условиям. Такое применение оборудования называют местным либо абонентским автоматическим регулированием.

Модернизация абонентских вводов позволяет оптимизировать распределение тепловой нагрузки в теплосети; адекватно управлять гидравлическим и тепловым режимами внутренней системы теплоснабжения здания, экономить энергоресурсы, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Прежде всего, нужно помнить, что до осуществления замены оборудования теплового пункта необходимо провести его детальное техническое и теплогидравлическое обследование, в процессе которого выясняют фактическое состояние абонентского ввода. При модернизации тепловых пунктов в подавляющем большинстве случаев целесообразно применять блочные тепловые пункты. Они собраны и испытаны в заводских условиях, отличаются надёжностью. Монтаж оборудования упрощается и удешевляется, что в конечном счёте снижает стоимость модернизации.

#### **Список литературы**

1. Официальный сайт «ИНЕК СЕРВИС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inekservice.com/ru/services/modernizatsiya-i-rekonstruktsiya-teplopunktov/> (дата обращения 22.09.2018).
2. Официальный сайт «МОЭК-ПРОЕКТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://moeekproekt.com/deyatelnost-kompanii/proyektnyye-raboty/proyektirovaniye-obyektov-teploenergetiki-i> (дата обращения 22.09.2018).
3. Познайка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poznayka.org/s98390t1.html> (дата обращения 22.09.2018).

УДК 66.061.3/66.011

**Мухтарова Алина Рустамовна,**

направление Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств (магистратура), гр. 237-М4

Научный руководитель **Тремасов Евгений Николаевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры теоретических основ теплотехники  
*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет» г. Казань,*

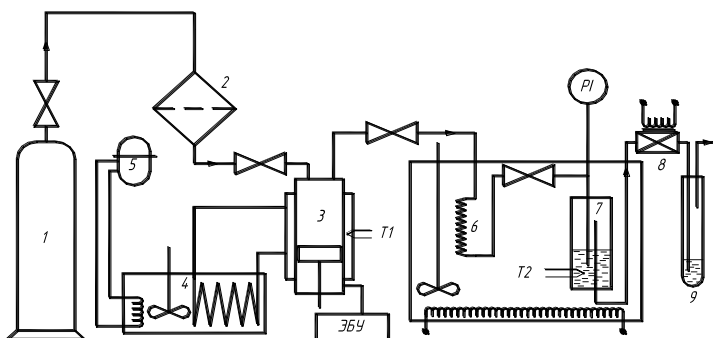
### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ ОДНОЛЕТНИКОВ**

В настоящей статье представлена схема новой лабораторной экстракционной сверхкритической установки с насосным циклом работы, позволяющая проводить экстрагирование и измерение растворимостей

твердых и жидких веществ в сверхкритическом диоксиде углерода при давлениях до 40 МПа в диапазоне температур 308-368 К. Основными узлами и системами установки являются система создания, регулирования и измерения давления, система регулирования и измерения температуры, экстрактор, система разделения растворяемого вещества и растворителя [1].

Система создания (см. рисунок), регулирования и измерения давления состоит из жидкостного шприцевого насоса СФЭ-400 (3) с электронным блоком управления (ЭБУ) и образцового манометра (PI).

Диоксид углерода из баллона (1) через систему очистки (2) поступает в цилиндр жидкостного шприцевого насоса (3), обеспеченного контуром охлаждения. Система очистки состоит из двух ступеней: фильтра тонкой очистки, предназначенного для отделения механических примесей, и фильтра-осушителя, заполненного цеолитом для отделения влаги, содержащейся в баллонах с  $\text{CO}_2$ .



**Схема экспериментальной установки с насосным циклом работы**

Охлаждение рабочего объема насоса осуществляется прокачиванием холодного теплоносителя через рубашку охлаждения, что обеспечивает жидкую фазу диоксида углерода в цилиндре. Теплоноситель охлаждается в термостате (4) холодильным агрегатом (5). Температура в рубашке охлаждения измеряется хромель-алюмелевой термопарой (T1), введенной непосредственно в исследуемую среду через уплотнение специальной конструкции.

Шприцевой насос с рабочим объемом цилиндра  $150 \text{ см}^3$  позволяет работать как в режиме поддержания постоянного давления (в пределах  $0 \div 40 \text{ МПа}$ ), так и в режиме поддержания постоянного мгновенного рас-

хода (в пределах  $0 \div 11,4 \text{ см}^3/\text{мин}$ ). Шприцевой насос за один цикл работы способен прокачать около 100 г жидкого диоксида углерода, поэтому измерение растворимости слаборастворимых веществ проводится за несколько циклов работы насоса. В процессе работы насоса постоянно контролируются давление, мгновенный расход, степень заполнения цилиндра жидкостью и объем прокачанной жидкости. Измерение давления в экстракторе производится образцовым манометром класса точности 0,2 с пределом измерений  $0 \div 40 \text{ МПа}$ .

Диоксид углерода при заданном рабочем давлении перед поступлением в экстрактор подогревается до рабочей температуры в теплообменнике предварительного нагрева (6). Теплообменник предварительного нагрева и экстрактор (7) погружены в емкость термостата марки U-10. Температура флюида в экстракторе измеряется хромель-алюмелевой термопарой (Т2), введенной непосредственно в исследуемую среду через корпус с использованием специального уплотнительного устройства. Точность измерения температуры оценивается в пределах  $\pm 0,05 \text{ К}$ . Градуировка всех использованных в установке термопар осуществляется индивидуально с точностью  $\pm 0,03 \text{ К}$ .

ЭДС термопар измеряется компаратором напряжений Р-3003 класса точности 0,0005, подключенным в измерительную схему через терморезисторный переключатель ПМТ-12. Холодные спаи термопар находятся в сосуде Дьюара с тающим льдом дистиллированной воды.

Процесс растворения исследуемого вещества в сверхкритическом флюиде происходит в экстракторе, представляющим собой сосуд высокого давления объемом  $10 \text{ см}^3$ , рассчитанный на давления до 40 МПа при температурах до 363 К.

Процесс сепарации осуществляется за счет понижения давления раствора до значений близких к атмосферному, что приводит к резкому снижению растворяющей способности экстрагента и выделению растворенной компоненты из последнего.

Перед началом эксперимента производится загрузка экстрактора исследуемым веществом. Экстрактор с исходным веществом в собранном виде взвешивается на электронных аналитических весах марки ЕТ-600-П-Е с точностью  $\pm 10^{-5} \text{ кг}$ .

Заполнение экстрактора диоксидом углерода производится с расходом, не превышающим  $0,01 \div 0,05 \text{ мл/мин}$ . После достижения в экстракторе рабочего давления вентиль перед экстрактором открывается полностью. Процесс термостатирования продолжается до тех пор, пока температура в экстракторе, измеряемая термопарой (Т2), не достигнет заданного значения. Регулирование расхода экстрагента осуществляется

игольчатым вентилем и рестриктором с соответствующими параметрами. Из экстрактора раствор исследуемого вещества в сверхкритическом диоксиде углерода поступает на обогреваемое дросселирующее устройство (8), на котором происходит падение давления, и растворитель утрачивает растворяющую способность. Растворенный компонент осаждается в накопительной емкости (9).

Электронный блок управления (ЭБУ) шприцевого насоса (3) фиксирует объем растворителя, прошедшего за время эксперимента при заданном давлении в цилиндре насоса. Масса прошедшего  $\text{CO}_2$  определяется через его плотность, рассчитанную по уравнению состояния [2].

В случаях, когда требуемое количество диоксида углерода превышает 100 г, экстрактор отсекается запорными вентилями и производится повторное заполнение цилиндра жидкостного насоса диоксидом углерода. Процесс экстрагирования возобновляется.

После прохождения через экстрактор заданного количества экстрагента экстрактор вместе с дроссельным устройством отсоединяется от коммуникаций и осуществляется плавное и медленное выравнивание давления с окружающей средой. Экстрактор с открытым дроссельным устройством выдерживается 12-16 часов при атмосферных условиях, в течение которых диоксид углерода покидает жидкую фазу (процесс дегазации), после чего вновь взвешивается на аналитических весах ET-600-П-Е с точностью  $\pm 10^{-5}$  кг.

На описываемой установке были осуществлены измерения растворимости компонентов масла из семян амаранта в СК  $\text{CO}_2$ : пробные измерения растворимости олеиновой кислоты и целевого компонента – сквалена [3]. Значения растворимости олеиновой кислоты, измеренной на изотерме 313 К, совпадают с аналогичными результатами работы [4] в пределах погрешностей эксперимента. Результаты пробных измерений свидетельствуют о корректности методики измерений растворимости и работоспособности созданной экспериментальной установки.

Настоящая работа является основой промышленной технологии экстрагирования масла из семян амаранта сверхкритическим диоксидом углерода. Развитием данной работы будет являться создание способа масштабирования результатов лабораторных исследований на промышленные объемы.

### **Список литературы**

1. Тремасов, Е. Н. Экспериментальная установка для исследования растворимости биологически активных компонентов растительного сырья в сверхкритическом диоксиде углерода / Е. Н. Тремасов, А. Е. Новиков, Р. Н. Максудов // Тезисы научной сессии КГТУ. – Казань, 2002. – С. 122.

2. Алтунин, В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода / В. В. Алтунин. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 546 с.
3. Исследование экстракции масла из семян амаранта и измерение растворимости сквалена в сверхкритическом диоксиде углерода / Р. Н. Максудов, Е. Н. Тремасов, А. Е. Новиков и др. // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2005. – № 1. – С. 279-285.
4. Zer-Ran Yu. Phase equilibria of oleic acid, methyl oleate, and anhydrous milk fat in supercritical carbon dioxide / Zer-Ran Yu, Syed S. H. Rizvi // The Journal of Supercritical Fluids. – 1992. – No. 5. – P. 114-122.
5. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов ВЧ-плазмой / Е. Ю. Разумов, Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Л. И. Аминов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2009. – № 1. – С. 24-25.
6. Установка для переработки отходов древесных производств / Р. Р. Сафин, Е. Ю. Разумов, А. Е. Воронин [и др.] // Вопросы современной науки и практики / Университет им. В. И. Вернадского. – 2009. – № 5 (19). – С. 82-87.

УДК 620.193

**Петряков Андрей Владимирович,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(бакалавриат), гр. ЭТМ – 41

Научный руководитель **Гаджиев Гасан Магамедрасулович,**

канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## **ЗАЩИТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ПОЧВЕННОЙ КОРРОЗИИ**

**Цель работы** – изучение причин возникновения коррозии трубопроводов, видов защиты от данного процесса, а также применение систем мониторинга состояния трубопровода.

**Актуальность темы.** При своевременном обнаружении развития процесса коррозии и проведении мероприятий по ее ликвидации трубопровод будет всегда исправен, тем самым не будет приносить эксплуатирующей организации убытки, связанные с заменой труб, узлов подключения нефтеперекачивающих станций (НПС) и запорной арматуры линейной части трубопровода.

Все металлические материалы, реагируя с кислородом (окисляясь), испытывают процесс разрушения. В этом случае происходит поражение



металла коррозией. «Коррозия – это самопроизвольное разрушение металлических материалов, происходящее под химическим воздействием окружающей среды» [1, с. 685].

На данный момент для защиты трубопровода от коррозии используются пассивные и активные средства и методы. Пассивным средством являются изоляционные покрытия, а к активным методам относится электрохимическая защита (ЭХЗ). Выбор средства защиты зависит от коррозионной активности грунта, в который будет укладываться трубопровод, но все же основным способом защиты трубопроводов от подземной коррозии является надежная наружная изоляция.

Изоляция, применяемая для защиты трубопровода от почвенной коррозии, наносится в заводских и полевых условиях.

К *изоляции, наносимой в полевых условиях*, относятся:

- 1) битумно-мастичные покрытия;
- 2) полимерные ленточные покрытия;
- 3) комбинированные покрытия (типа «Пластобит»).

К *изоляции, наносимой в заводских условиях*, относятся:

- 1) эпоксидное покрытие;
- 2) полиэтиленовое покрытие;
- 3) полипропиленовое покрытие.

*Электрохимическая защита* в свою очередь делится на *катодную* (если защита проводится внешним источником постоянного тока) и *протекторную* (если к трубопроводу, который защищается, присоединяется металл, имеющий более отрицательный потенциал).

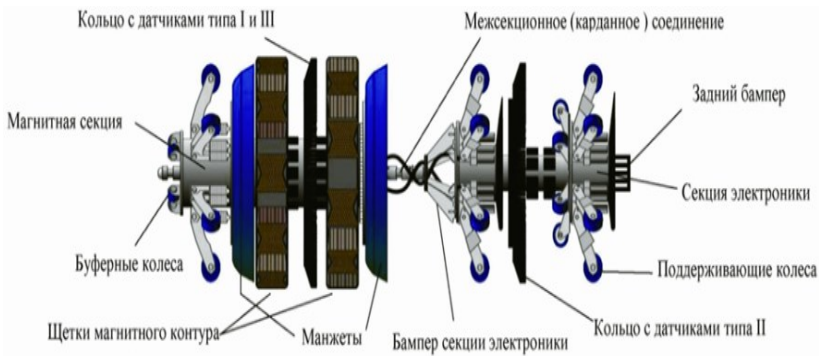
Выбор способа ЭХЗ зависит от расположения линий электропередач (ЛЭП) относительно трубопровода. Если ЛЭП проходит недалеко от трубопровода, то с помощью понижающих трансформаторов на станцию катодной защиты (КЗ) подается постоянный ток. Станция КЗ в свою очередь соединена положительным полюсом к анодному заземлению, а отрицательным – к нефтепроводу. И в конечном итоге через почвенный электролит цепь замыкается (аналогично процессу электролиза). Если же трубопровод находится далеко от ЛЭП, то к трубопроводу подсоединяется протектор, который через определенный срок нужно обновлять, так как он в процессе защиты трубопровода разрушается.

Проводить мероприятия по защите трубопровода – непростая задача, так как трубопровод всегда проходит по многокилометровому участку. В данном случае на помощь трубопроводной отрасли приходят инженеры вместе с программистами, которые изобрели *систему мониторинга коррозионного состояния*. Данная система основывается

на передаче информации о состоянии трубопровода на пункт контроля этого трубопровода или на подключенный к данной системе ПК в режиме онлайн.

Одна из таких систем представлена инженерным центром ЗАО «ВНИИСТ-ПОИСК». Данное изобретение под названием внутритрубный магнитный дефектоскоп (см. рисунок) (RU 2133032, МПК G 01 N 27/83, 10.07.1999 [4]) является устройством для магнитной дефектоскопии тонкостенных ферромагнитных объектов, в частности стальных трубопроводов.

Данное устройство осуществлено в виде внутритрубного дефектоскопа-снаряда. Стенки проверяемой трубы намагничивают до состояния насыщения намагничивающей системой, которая имеет кольцевые полюсные наконечники. Далее происходит сканирование исследуемого материала многозвенным кольцевым магниточувствительным преобразователем, который находится между полюсами намагничивающего устройства. Дефектоскоп постоянно замеряет толщину стенок и видит отклонение этой величины. В тех местах, где обнаруживается отклонение, имеет место дефект трубопровода, вызванный процессом коррозии. На данном принципе основывается обследование трубопровода данным дефектоскопом.



### **Внутритрубный магнитный дефектоскоп**

Из всего сказанного выше можно сделать важный вывод о том, что коррозия – процесс все-таки неизбежный. Но, вооружившись знаниями, накопленными за долгий срок эксплуатации трубопроводов, можно «победить» процесс коррозии.

### Список литературы

1. Глинка, Н. Л. Общая химия: учебное пособие для вузов / под ред. А. И. Ермакова. – Изд. 30-е, испр. – М.: Интеграл-Пресс, 2005. – 728 с.
2. Коршак, А. А. Проектирование и эксплуатация газоне-фтепроводов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. – СПб.: Недра, 2008. – 488 с.
3. Мустафин, Ф. М. Защита от коррозии. Т. 1 / Ф. М. Мустафин, М. В. Кузнецов, Л. И. Быков. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2004. – 806 с.
4. Способ магнитной дефектоскопии и устройство для осуществления этого способа: пат. 2133032 Рос. Федерация: МПК G01N27/83 G01N27/87 / В. Р. Андрианов; заявитель и патентообладатель ЗАО Инженерный центр «ВНИИСТ-ПОИСК». – № 97104333; заявл. 20.03.1997; опубл. 10.07.1999. – 3 с.

УДК 621.184.4

**Петухова Екатерина Вячеславовна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ТТм-21

Научный руководитель **Медяков Андрей Андреевич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## КОНСТРУКЦИИ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

**Актуальность.** Рост цен на топливо, увеличение неравномерности графика электрической нагрузки, повышение потребляемой мощности народным хозяйством и прочие факторы ставят задачу создания маневренных энергоблоков, работающих с высокой экономичностью в широком диапазоне нагрузок.

С учетом имеющейся структуры установленных мощностей и тенденции создания новых, а также модернизации существующих энергетических блоков ТЭС и АЭС одним из направлений решения этой проблемы является совершенствование системы регенерации низкого давления паровых турбин и ее оборудования.

**Цель работы** – рассмотреть конструкции и принцип работы подогревателей низкого давления.

Подогреватели, используемые в регенеративной системе турбоустановки, бывают двух типов: поверхностные и смешивающие. В поверхностных подогревателях греющий пар и нагреваемая среда (конденсат или питательная вода) разделены металлом стенок трубок. Нагрев воды осуществляется за счет конденсации греющего пара в межтрубном пространстве и передачи теплоты через металл трубок. В смешивающих

(контактных) подогревателях греющий пар и нагреваемая среда вступают в непосредственный контакт и смешиваются, при этом происходит конденсация пара.

Принцип работы подогревателей ничем не отличается от принципа работы конденсатора: для их успешной работы необходимы определенная разность температур греющего пара и нагреваемой среды и постоянное удаление из парового пространства неконденсирующихся газов, затрудняющих теплообмен.

На рисунке 1 показана типичная конструкция подогревателя низкого давления [3]. Нагреваемый конденсат поступает в водяную камеру, разделенную вертикальной перегородкой на две половины. Водяная камера отделена от парового пространства подогревателя трубной доской с завальцованными в нее U-образными вертикальными трубками. Конденсат, пройдя по трубкам, поступает во вторую половину водяной камеры и оттуда в следующий подогреватель.

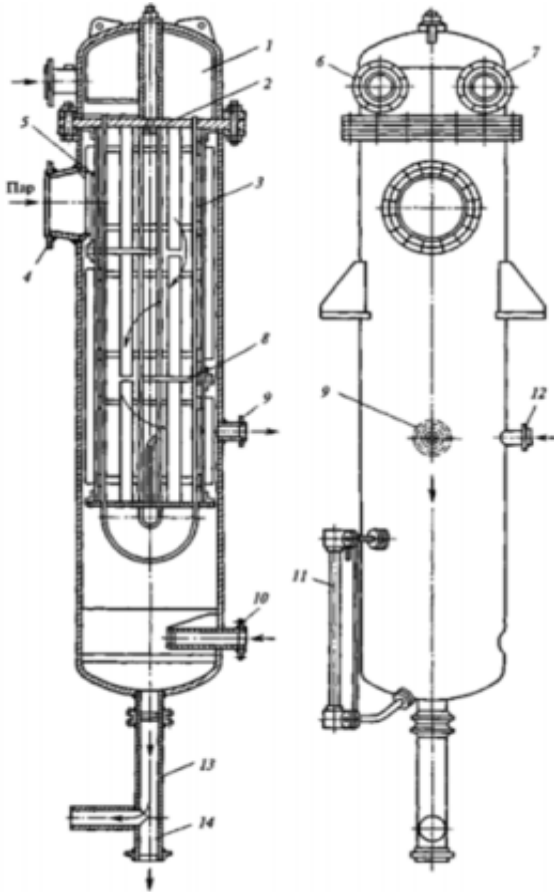
Греющий пар, омывая трубки, конденсируется и стекает вниз. Для лучшего теплообмена пучок трубок снабжен специальными перегородками. Для нормальной работы подогревателя из его парового пространства необходимо постоянно откачивать неконденсирующиеся газы подобно тому, как это производится из конденсатора. Поэтому паровое пространство подогревателя соединяют трубопроводом или с паровым пространством подогревателя с меньшим давлением, или с паровым пространством конденсатора, или с эжекторной установкой – основной или вспомогательной.

Водяной объем конденсата, образующегося в нижней части подогревателя (конденсат греющего пара), соединен либо с водяным объемом соседнего подогревателя с меньшим давлением, либо со всасывающей полостью дренажного насоса, подающего конденсат в линию основного конденсата. Кроме того, в корпусе имеется штуцер для приема конденсата из подогревателя с большим давлением пара.

В последние годы находят распространение подогреватели низкого давления смешивающего типа. Кроме того, что они полнее позволяют использовать тепло греющего пара, в них отсутствуют дорогие латунные трубки (использование трубок из углеродистой стали недопустимо из-за окисления не полностью деаэрированной водой). В турбоустановках ТЭЦ смешивающие ПНД пока применяются только в так называемых бездеаэраторных схемах.

На рисунке 2 показана конструктивная схема подогревателя низкого давления смешивающего типа [3]. Нагреваемый конденсат поступает из конденсатора через охладители пара эжекторов и сальниковый подогрев-

ватель по трубопроводу 6 на перфорированный лоток 2, стекает через перфорации на лоток 3 (также перфорированный) и с него – на дно подогревателя. Далее по трубопроводам 8 нагретый конденсат самотеком перетекает в следующий подогреватель.



**Рис. 1. Регенеративный подогреватель низкого давления (РПД):**  
 1 – водяная камера; 2 – трубная доска; 3 – латунные U-образные трубки;  
 4 – подвод греющего пара; 5 – защитный щит; 6, 7 – входной и выходной па-  
 трубки основного конденсата; 8 – направляющие перегородки; 9 – отсос возду-  
 ха; 10 – подвод дренажа из другого подогревателя; 11 – водомерное стекло;  
 12 – подвод неконденсирующихся газов из другого подогревателя; 13 – слив  
 конденсата греющего пара; 14 – штуцер для опорожнения

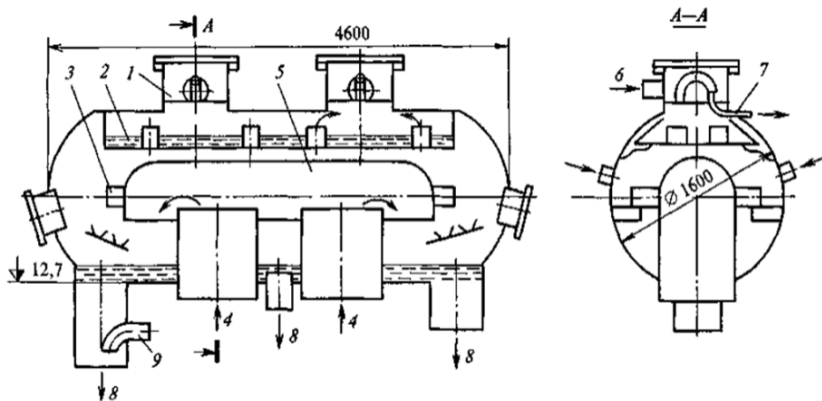


Рис. 2. Смешивающий подогреватель низкого давления

Греющий пар по двум паропроводам 4 подается из отбора турбины в паровпускной короб 5, из которого равномерно разводится по периметру короба, пересекает струи конденсата, стекающего с нижнего перфорированного лотка, и нагревает их.

Несконденсированный греющий пар продолжает двигаться вверх, соприкасается со струями конденсата, стекающего с верхнего лотка, и нагревает их. Остатки греющего пара проходят по восьми патрубкам в верхнем лотке 2, охлаждаются в охладителе 1 и по трубопроводу 7 отсасываются в конденсатор (или в подогреватель с меньшим давлением).

При использовании смешивающих подогревателей очень важным является исключение какой-либо возможности попадания воды из подогревателя в турбину, поскольку это приведет к неизбежной и серьезной аварии. Поэтому подогреватель снабжается специальным аварийным переливом, входная трубка 9 которого показана на рисунке 1. При повышении уровня воды в подогревателе избыточная вода продавливается в конденсатор через гидравлический затвор за счет напора столба воды.

**Выводы.** Несмотря на достаточно сложное устройство системы и ряд особых требований, подогреватель низкого давления является достаточно надежным агрегатом. Срок его службы определяется в 30 лет, а число рабочих циклов – около 1000.

#### Список литературы

1. Вукалович, М. П. Техническая термодинамика / М. П. Вукалович, И. И. Новиков. – М.: Энергия, 1968. – 496 с.

2. Рихтер, Л. А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / Л. А. Рихтер, Д. П. Елтзаров, В. М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 216 с.

3. Теплообменное оборудование паротрубных установок. Отраслевой каталог: в 2 ч. - М.: НИИЭнформэнергомаш, 1984. – 287 с.

УДК 612.76

**Попков Дмитрий Игоревич,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов,  
гр. ЭТМ-31п

Научный руководитель **Капустин Александр Валерьевич,**

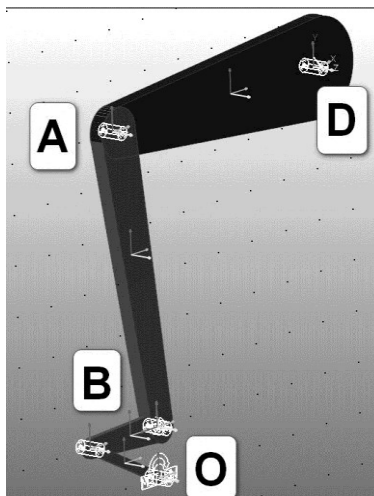
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАХ ЭКЗОСКЕЛЕТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ МАССЫ ЗВЕНЬЕВ ПРИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

Экзоскелеты медицинского назначения были придуманы сравнительно недавно. Экзоскелет (греч. Ἐξω – внешний и σκελετος – скелет) – устройство, которое повторяет человеческие движения с целью восполнения утраченных двигательных функций. Экзоскелеты применяются в медицинской практике. При помощи специальных креплений они фиксируются на нижних конечностях человека и в области поясничного отдела. Создавая локомоторные движения конечностей, подобные движениям человека, экзоскелет тренирует мышцы на реабилитацию мышечной активности.

Экзоскелет, повторяющий локомоторные функции ходьбы, состоит из 6 основных подвижных звеньев и

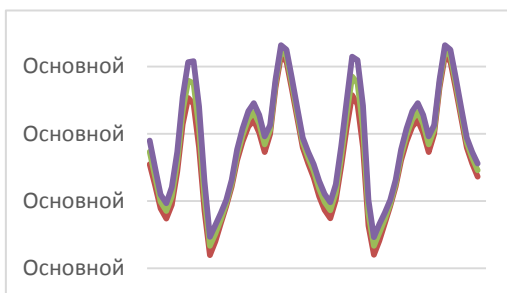


**Рис. 1. Схема педипулятора экзоскелета на велостенде в CAERecurDynStudent**

одного опорного звена (рис. 1). Для простоты можно представить только три звена, так как вторая часть повторяет движения первой со смещением на половину цикла шага. Звенья соединяются вращательными кинематическими парами, которые состоят из подшипников. При проектировании кинематической схемы и анализе механизма необходимо представлять, какие усилия действуют в кинематических парах и как они зависят от массогабаритных параметров экзоскелета [1].

**Цель работы** – построить модель велостенда в CAERecurDynStudent и определить зависимости реакций в кинематических парах экзоскелета медицинского назначения от массы звеньев.

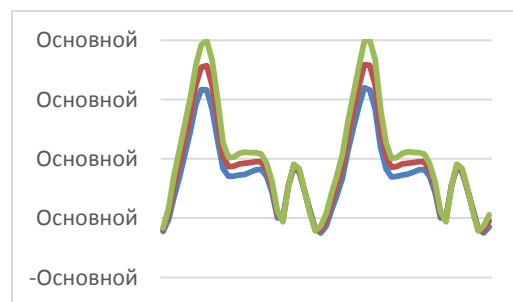
Для решения поставленной задачи воспользуемся системой CAERecurDynStudent для многотельного динамического моделирования. Согласно антропометрическим данным зададимся средними геометрическими величинами длин звеньев: бедра, голени и ступни [2] и построим каркасную модель велостенда с экзоскелетом.



**Рис. 2. Характер изменения полной реакции в шарнире D в зависимости от изменения массы**



**Рис. 3. Характер изменения полной реакции в шарнире A в зависимости от изменения массы**



**Рис. 4. Характер изменения полной реакции в шарнире B в зависимости от изменения массы**



Положение центров тяжести примем на расстоянии  $0,44l_6$  от тазобедренного сустава, голени на расстоянии  $0,42l_7$  от коленного сустава. Длины звеньев: длина бедра  $l_6 = 0,41$  м, голени –  $l_7 = 0,5$  м. Коэффициент жесткости в шарнире  $B_1K_R = 800$  Н·м/рад, коэффициент демпфирования  $C_R = 20$  Н·м·с/рад. Входным звеном будет являться кривошип с угловой скоростью 1 оборот в секунду, угловое вращение кривошипа будем считать постоянным. Точка  $B$  является упругой (ригидной) связью между звеньями голени и ступни. В системе RecurDynStudent будем задавать её жесткостью пружины вращательного действия.

Для нахождения зависимостей реакций от массы представим три варианта различных весовых параметров. В результате многократного моделирования были получены графики полной реакции  $R[H]$  в тазобедренном шарнире  $D$ , коленном шарнире  $A$  и пяточном шарнире  $B$ .

По горизонтальной оси откладываем время цикла – 2 (рис. 2-4).

В результате моделирования видно, что наибольшие реакции возникают в голеностопном шарнире  $B$  от 20 до 350 Н. Характер изменения реакций от массы звеньев происходит симметрично за исключением пиковых значений.

Полученная в программе RecurDyn модель позволяет определять реакции в шарнирах экзоскелета медицинского назначения в зависимости от изменения масс, длин и положения центров тяжести звеньев.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)*, шифр 2017-218-09-1807, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

### **Список литературы**

1. Компьютерное моделирование регулярной ходьбы на основе кинематического анализа движений и синтеза алгоритмов управления экзоскелета / Ю. В. Лоскутов, А. В. Капустин, К. С. Ключев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 3 (35). – С. 47-60.
2. Зацюрский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В. М. Зацюрский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.

УДК 378.09

**Ризванова Лилия Марселевна, Шайхутдинова Диля Айратовна,  
Хайрутдинова Алина Радиковна, Валеев Кирилл Валерьевич,  
Сайфутдинов Данис Марселевич,**

направление Технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих про-  
изводств

Научный руководитель **Сафин Рушан Гареевич**,  
д-р техн. наук, заведующий кафедрой переработки древесных материалов  
*ФБГОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический  
университет», г. Казань*

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ КАДРЫ СЕГОДНЯ**

Наша страна всегда славилась своими инженерами, и эта профессия заслуживала уважения во все времена. В обществе отношение к людям инженерной профессии было серьезным. И в последнее время в нашей стране были предприняты шаги по улучшению и модернизации этой профессии. Созданы специальные школы, крупные проекты, национальные исследовательские университеты, направленные на подготовку кадров. Популярность и престиж профессии инженера растет, и карьера инженера становится привлекательной как с точки зрения статуса, так и с материальной стороны.

Сегодня наибольшим спросом пользуются инженерные специальности, связанные с промышленным производством. Нарастающее усложнение технических объектов и технологий приводит к увеличению не только материальных, но в первую очередь интеллектуальных затрат на конструкторско-технологические разработки. Успешность новых проектов в значительной степени определяется качеством их исполнения и квалификацией инженеров. Спрос на профессию инженера в последующие годы будет только возрастать, станут цениться сочетание технического и экономического образования и знание иностранных языков.

С каждым днем меняется представление об инженерной профессии, растут и требования к ней. Сегодня инженеры должны быть профессионалами высокого уровня, которые обеспечивают работу сложнейшего оборудования, конструируют современную технику, придумывают новые продукты и технологии его изготовления, изучают робототехнику.

Подготовка инженерных кадров в полной мере должна отвечать вызовам времени, запросам экономики и общества, способствовать решению задач, которые сегодня стоят перед нашей экономикой в целом. Это повышение конкурентоспособности, технологическое перевооружение промышленности, кардинальный рост производительности труда.

Поэтому система технического образования должна быть нацелена на подготовку инженеров, чьи навыки, квалификация отвечают требованиям, потребностям предприятий.

Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ) – один из ведущих российских вузов химико-технологического профиля, современный мощный образовательный и научно-производственный комплекс, лидер в области подготовки высококвалифицированных инженерных кадров в сфере химической технологии. Приоритетом последних лет в развитии вуза стало расширение спектра образовательных программ магистратуры, привлечение в ряды студентов представителей других регионов России. Расширяются объемы целевой подготовки студентов, формируются проектные группы для конкретных предприятий («Татнефть», «Аммоний», КЗСК, «Лукойл-НижегородНИИнефтехимпроект» и др.).

КНИТУ является также одним из центров подготовки кадров для Камского инновационного территориально-производственного кластера и инновационно-производственного центра «Иннокам», который включает в себя более тридцати предприятий, научных и образовательных организаций.

Научная деятельность вуза представлена признанными научными школами, ведущими исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники. Для производства опытных партий изделий, отработки технологий и коммерциализации разработок с участием студентов, аспирантов и докторантов создан научно-производственный парк, включающий бизнес-инкубаторы, инновационные полигоны, центр трансфера технологий.

В настоящее время инновационная структура университета включает 38 малых предприятий и 33 НОЦ с ведущими научными и образовательными учреждениями страны. КНИТУ является ведущим вузом нефтегазохимического образовательного кластера легкой промышленности региона, интегрируя начальное, среднее, высшее и дополнительное профессиональное образование и инновационную деятельность Республики Татарстан по указанным направлениям.

В 2013 году в КНИТУ в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 23 июля 2013 г. № 1300-р создан Инжиниринговый центр «Chemical Engineering» в рамках совместного проекта Минобрнауки и Минпромторга России.

В 2016 году на базе Нижнекамского химико-технологического института создан Нефтехимический инжиниринговый центр КНИТУ, специализирующийся в области химии полимеров и композиционных ма-

териалов, с целью оказания проектных и предпроектных услуг, инженерно-консультационных услуг по подготовке процесса производства и сертификации нефтехимической продукции.

Основным вектором проектирования и реализации образовательной деятельности КНИТУ вот уже много лет является тесное взаимодействие с крупнейшими российскими предприятиями.

Яркий пример такого взаимодействия – присвоение КНИТУ статуса опорного вуза ОАО «Газпром» и разработка программы долгосрочного сотрудничества, включающей создание лабораторий, подготовку специалистов для дочерних предприятий и профориентационную работу, ряд совместных научных исследований, стажировки преподавателей на инновационных площадках ОАО «Газпром» и др.

В настоящее время в университете есть все необходимое для реализации полного инновационного цикла: интегрированная система непрерывного образования, развитая фундаментальная и прикладная научная и проектная деятельность, сеть собственных производств. КНИТУ является активным участником инновационных преобразований в масштабах Республики Татарстан и Российской Федерации.

По данным британской компании «Quacquarelli Symonds», в 2016 году КНИТУ занимает позицию «150-200» в рейтинге лучших университетов развивающихся стран Европы и Центральной Азии.

В 2017 году КНИТУ впервые попал в престижную выборку лучших учебных заведений мира, по версии международного рейтинга университетов Round University Ranking, заняв 31-е место среди вузов России и 649-е место в мировой классификации.

В апреле 2017 года Европейская научно-промышленная палата подвела итоги Мирового академического рейтинга ARES-2017. По результатам автоматизированной оценки показателей КНИТУ занял 64-е место, что соответствует категории «VV+» – группа университетов, обеспечивающих надежное качество преподавания, научной деятельности и востребованности выпускников работодателями.

Интеграция в международное научно-образовательное пространство – приоритетное направление деятельности вуза. Международная деятельность КНИТУ ориентирована на развитие комплекса различных форм интеграции в глобальное образовательное, научное и деловое пространство с привлечением исследовательских и образовательных организаций, промышленных предприятий и бизнес-партнеров.

КНИТУ стремится подготовить профессионалов высокого уровня, усилить интеграцию в международное образовательное пространство. Задача университета – стать центром притяжения для учащейся и науч-

ной молодежи со всей страны и сопредельных государств, выйти в лидеры по уровню развития университетской среды в рамках Урало-Поволжского региона, стать настоящей фабрикой идей и одним из моторов регионального развития.

### **Список литературы**

1. Инженерная педагогика как основа системы подготовки преподавателей технических университетов / под ред. В. В. Кондратьева // Новые стандарты и технологии инженерного образования: возможности вузов и потребности нефтегазохимической отрасли, СИНЕРГИЯ-2017: мат-лы Междунар. сетевой науч.-практ. конф. – Казань: КНИТУ, 05-06 декабря 2017 года. – С. 29-38.

2. Багаутдинов, Н. Г. Концепция управления качеством образования и возможности ее реализации в системе подготовки инженерных кадров высшей квалификации / Н. Г. Багаутдинов // Российское предпринимательство. – 2004. – № 3 (51). – С. 25-30.

УДК 620.92

**Романов Григорий Сергеевич,**  
направление Строительство (бакалавриат), гр. 415

Научный руководитель **Емельянович Анжелика Александровна,**  
канд. экон. наук, доцент кафедры управления, социологии и экономики  
*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», г. Новосибирск*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Человеческое общество неуклонно растет, расширяются города. Растут потребности в производстве различных товаров и услуг, что влечет проблемы с потреблением сырья. Все виды промышленности потребляют огромное количество не только сырья, но и энергии, необходимой для его переработки, добычи, доставки и хранения. Пока что человек не столкнулся с проблемой острой нехватки энергии. В основном он использует невозобновляемые источники энергии, такие как уголь, газ, нефть, уран, торф, древесина и т.д. Но наступит день, когда все это закончится, и это будет катастрофа. Правда, люди начали задумываться об этом уже сейчас, ведутся различные разработки по использованию возобновляемых источников энергии, будь это энергия воды, света, ветра. Пример этому – различные ГЭС, ветряные мельницы, солнечные батареи [1].

Революционную технологию создали в Японии: редкий эффект, неожиданно возникший в «сэндвиче» из полупроводника, золотой пленки и наночастиц золота, позволил уловить большую часть видимого спектра – в 11 раз больше аналогов.

Об открытии ученых из Университета Хоккайдо, которое может преобразить солнечную энергетику, рассказывает ScienceDaily [2]. Как и многие другие исследователи, команда профессора Хироаки Мизавы пыталась разработать электрод, который бы улавливал частицы света в широком спектре. Для этого в полупроводник – пленку из диоксида титана – добавляли наночастицы золота. Однако такая поверхность улавливала свет лишь из небольшой части спектра. То есть преобразовывала малую часть энергии света в электричество.

Тогда Мизава решил добавить дополнительный светоотражающий слой – подложку из золотой пленки. И эта система, которая улавливает свет между двух слоев, показала исключительную эффективность.

Как объясняет профессор, между двумя золотыми слоями возник эффект плазменного резонанса, который сделал возможным «захват» многократно отраженного света в широком спектре. Такой фотоэлектрод собрал 85 % видимого света – и это в 11 раз выше, чем у пленки без отражающего слоя.

Японец также обращает внимание на то, что такая пленка хотя и золотая, но предельно экономична по отношению к используемым материалам: слой из оксида титана и наночастиц золота толщиной всего 30 нм, а золотой отражатель под ним – 100 нм. Итоги работы описаны в статье в журнале Nature Nanotechnology. О стоимости пленки и коммерческих перспективах технологии данных пока нет.

Это одно из самых перспективных открытий в области солнечных батарей. И вот наглядный пример: для размещения солнечной электростанции (СЭС) мощностью 1000 МВт (Эл) в средней полосе европейской части России необходима площадь при 10 % КПД в 67 км<sup>2</sup>, но теперь КПД стал в пределах 85 %, а значит, площадь станет 8 км<sup>2</sup>. За год такая станция сможет предоставить около 8000 ГВт\*ч, что сравнимо с потреблением города с населением около 500 тыс. человек за год.

Солнечная энергия является, вне всяких сомнений, весьма перспективной технологией, да к тому же еще и экологически чистой. Но есть одна проблема – хранение энергии. Если ее сразу не использовать, потери будут весьма значительными. Конечно, можно использовать литий-ионные аккумуляторы или более интересные разработки, но куда лучше было бы создать такую технологию, которая позволила бы сохранять энергию солнца длительный срок. И, похоже, группе исследо-

вателей из Швеции это удалось. По заявлению специалистов, благодаря новой разработке энергия может сохраняться до 18 лет!

За разработку отвечают ученые из Технического университета Чалмерса. Еще год назад они смогли создать молекулу, в основе которой лежат углерод, водород и азот. При воздействии солнечного света молекула меняет пространственное расположение атомов. То есть при сохранении молекулярной структуры она переходит в другую форму, называемую изомером. Самое интересное, что во время этого процесса молекула становится «носителем» энергии, и если ее вернуть в свое первоначальное состояние, то энергия высвободится. Осталось найти применение этой технологии. Поиск решения занял один год. В итоге мы имеем проект MOST (Molecular Solar Thermal Energy Storage) – Молекулярное хранилище солнечной тепловой энергии [3].

«Энергия в этом изомере теперь может храниться до 18 лет. И когда мы захотим добыть энергию и использовать ее, мы на выходе получаем больше тепла, чем предполагали», – заявил профессор кафедры химии и химической инженерии Технического университета Чалмерса, руководитель исследовательской группы Каспер моль-Поульсен.

Для сбора энергии используется специальный рефлектор с трубой в центре. Он отслеживает перемещение Солнца по небу и работает по типу спутниковой антенны, следуя за светилом. После сбора молекулы растворяются в жидком веществе и хранятся в таком состоянии до тех пор, пока не потребуются высвободить энергию обратно. Для того чтобы получить энергию, молекула-изомер в жидкой форме должна пройти через катализатор. В итоге после изменения пространственной структуры температура жидкости повышается на 63 градуса Цельсия. Ученые считают, что MOST можно устанавливать на крыши домов для того, чтобы происходило поглощение солнечного света в теплый период, а полученную энергию можно использовать для обогрева жилища в холода.

**Вывод.** Один из важнейших недостатков солнечной энергии, а именно низкий КПД, в скором времени исчезнет, что, несомненно, радует. Также решается проблема по запасу этой энергии.

С учетом постоянного технологического прогресса, глобализации, уменьшения полезных ископаемых данные два открытия, на наш взгляд, могут серьезно повлиять не только на энергетическую ситуацию во всем мире, но и на экологическую, так как ТЭС, АЭС представляют существенную опасность для экологии нашей планеты.

### Список литературы

1. Зеленая эра [Электронный ресурс]: электронный научный журнал – 2016. – № 3. – Режим доступа: <https://russian.rt.com/science/article/445815-voznovliaemye-istochniki-energii> (дата обращения 2.10.18).

2. ScienceDaily [Электронный ресурс]: электронный научный журнал. – 2018. – Режим доступа: <https://www.sciencedaily.com/releases/2018/09/180910093533.html> (дата обращения 2.10.2018).

УДК621.5(083)

**Рыбакова Алевтина Петровна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (бакалавриат), гр. ТТ-41

Научный руководитель **Медяков Андрей Андреевич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ НА МЯСОКОМБИНАТЕ**

В современном мире сложно себе представить хранение скоропортящихся продуктов без специального оборудования. Одной из отраслей, где широко применяется различное холодильное оборудование, является мясная промышленность. Рассмотрим холодильные агрегаты, которые применяются на мясокомбинатах.

В связи с развитием пищевой промышленности и потребностью длительного хранения различного вида продуктов (мясо, колбаса и т.д.), широкое распространение получило такое явление, как создание искусственного холода.

Существует несколько способов создания искусственного холода. К основным относятся использование низкокипящих хладагентов, дросселирование газов, процесс расширения газов в детандере.

Что же представляет собой холодильный агрегат? Это в первую очередь элемент холодильной установки. Он состоит из конденсатора, испарителя, компрессора, ресивера с приводом компрессора, а также нагнетательного трубопровода. Вся эта конструкция в совокупности и является холодильным агрегатом. Компрессор – это специальное устройство, основной функцией которого является повышение давления и перемещение веществ в газообразном состоянии. Конденсатор – это теплообменник. В холодильных установках они применяются для того, чтобы конденсировать пары холодильных агентов. Ресивер – это специальная емкость, в которой хранится жидкий холодильный агент. Ресивер также необходим для равномерной подачи хладагента в испарители. С помощью него создается запас хладагента во всей холодильной системе.



Что такое хладагент (холодильный агент), который так активно используется в холодильной установке? В процессе кипения хладагент забирает тепло охлаждаемого объекта и возвращает его в окружающую среду. Это происходит из-за конденсации. Таким образом, хладагенты имеют две фазы перехода – кипение и конденсация. Стоит также отметить, какие химические вещества чаще всего используются в качестве холодильных агентов. В основном это фреоны (или хладоны, которые, по сути, являются фторсодержащими углеводородами), аммиак, элегаз (шестифтористая сера, которая представляет собой тяжелый газ), азот, гелий и ряд других углеводородов. В холодильных установках хладон работает по замкнутому циклу, в отличие от азота и гелия (жидкость расходуется, а затем испаряется лишь один раз).

Особенностью предприятий мясопереработки является широкий диапазон температур, необходимых для технологических процессов и последующего хранения продукции. Мясной сектор промышленности является одним из главных потребителей холода в нашей стране.

В работе холодильных установок для систем холодоснабжения мясоперерабатывающих предприятий основополагающим фактором является показатель усушки продукта при его термической обработке. Для последующего охлаждения необходимо высококачественное холодильное оборудование, которое обеспечит не только минимальную усушку продукта, но и соответствует самым строгим требованиям технологического процесса переработки мяса от момента убоя и хранения сырья до хранения готовой продукции. Кроме того, непременным условием для правильного процесса созревания мяса является поддержание постоянного нормированного значения влажности, температуры и циркуляции воздуха.

В обязательном порядке технологический цикл переработки мяса требует такого производственного этапа, как охлаждение, хранение и заморозка полуфабрикатов, сырья и готовой продукции. При этом в обязательном порядке на каждой производственной стадии переработки мяса требуется обеспечение полного соответствия параметров оборудования принятыми технологическими нормами. Технологические нормы в свою очередь вырабатываются в соответствии с санитарными и гигиеническими требованиями. В основном в мясной промышленности постоянно используются три типа холодильного оборудования: холодильные камеры, низкотемпературные склады, камеры шоковой заморозки продукта.

На перерабатывающее предприятие мясо в основном попадает сразу после забоя животного, а значит, с высокой температурой, в которой бактерии развиваются в большом количестве и с большой скоростью.

Для дальнейшей переработки, хранения требуется охладить мясо, чтобы снизить жизнедеятельность микроорганизмов. Холодильные камеры предназначены для снижения температуры помещенного в них продукта. Строение камер типично для данного вида оборудования.

Технология переработки мяса на предприятиях включает в себя использование замороженного мяса. Для быстрой и качественной заморозки используются высокопроизводительные камеры шоковой заморозки. Все камеры выполняют несколько видов заморозки: подмораживание, домораживание, охлаждение.

Во время подмораживания температура мяса понижается до криоскопической точки (когда вся жидкость превращается в лед), во время домораживания температура понижается до минус 18 градусов, а во время охлаждения температура продукта снижается до 0 градусов. Поскольку при шоковой заморозке жидкость превращается в мелкие кристаллы льда, клетки тканей мяса практически не разрушаются, а значит, оно может храниться в течение большого количества времени.

#### **Список литературы**

1. Бараненко, А. В. Холодоснабжение пищевых производств / А. В. Бараненко, В. С. Калюнов, А. Я. Эглит. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2001. – 68 с.
2. Мальгина, С. В. Холодильные машины и установки / С. В. Мальгина. – М.: Пищевая промышленность, 2000. – 592 с.
3. Розенфельд, Л. М. Холодильные машины и аппараты / Л. М. Розенфельд, А. Г. Ткачев. – М.: Госторгиздат, 1960. – 650 с.

УДК 621.5(083)

**Семенов Андрей Владимирович,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Научный руководитель **Федоров Денис Игоревич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин  
*Чебоксарский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Чебоксары*

## **РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ ДОСТАВКИ СРЕДСТВ ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ**

**Цель работы** – снижение времени и трудоемкости доставки средств первой необходимости путем разработки воздушного беспилотного аппаратного комплекса и автоматизации логистики.

**Актуальность проекта.** К сожалению, сегодня не во всех деревнях есть дороги. Из-за отсутствия дорог или километровых пробок не всегда получается своевременно доставить по назначению средства первой необходимости. Именно поэтому мобильная доставка медикаментов с помощью беспилотного аппаратного комплекса становится актуальной.

База беспилотных аппаратных комплексов (БАК) будет находиться в фельдшерских пунктах. Также планируется трудоустройство людей с ограниченными возможностями здоровья и пожилых для управления БАК.



Рис. 1. Схема логистики и места нахождения беспилотных аппаратных комплексов

БАК можно будет вызвать через мобильное приложение или колл-центр. После обработки заявки специалист находит ближайший фельдшерский пункт, где есть БАК, и сообщает об этом сотруднику фельдшерского пункта. После загрузки медикаментами беспилотного аппа-

ратного комплекса специалист запускает БАК и задает GPS координаты места, куда надо осуществить доставку. Планируется, что БАК будет летать автономно, а специалист будет задействован только при взлете и выгрузке заказа. Во время полета будет осуществляться мониторинг дорог. При доставке медикаментов производится безналичная оплата. После этого БАК летит автоматически обратно в фельдшерский пункт, производя мониторинг дорог.



Рис. 2. Структурная схема осуществления доставки медикаментов с помощью БАК

**Выводы.** Беспилотный аппаратный комплекс станет осуществлять максимально скоростную доставку необходимых грузов, он будет летать прямо к цели со средней скоростью 80 км/ч. БАК не зависит от ситуаций на дорогах, в отличие от автомобиля. Также он экологичный и практически бесшумный.

#### Список литературы

1. Гребеников, А. Г. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов // А. Г. Гребеников, А. К. Мялица, В. В. Парфенюк. – М., 2017. – С. 279-320.
2. Рэндал, У. Биард. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / У. Биард Рэндал, У. МакЛэйн Тимоти. – М: Техносфера, 2015. – 312 с.

УДК 658.264:697.3

**Султанова Гульнара Филюсевна,**  
направление Теплоэнергетика (магистратура), гр. ПТС м-1-18

Научный руководитель **Гапоненко Сергей Олегович,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения  
*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

**Цель работы** – проектирование системы отопления частного дома, совмещенного с инфракрасными (ИК) обогревателями в г. Набережные Челны.

Система отопления жилых зданий в настоящее время применяется для создания комфортного проживания людей.

Выработка теплоты в двухэтажном загородном доме производится с помощью котла для одного здания. В качестве исходных данных для проектирования использовались поэтажный план здания, техническая характеристика и природно-климатические условия местности.

**Актуальность** проекта заключена в проектировании системы отопления при отсутствии центрального теплоснабжения, отвечающей санитарно-гигиеническим, монтажным и архитектурным требованиям.

Электроэнергия является одним из лучших достижений технического прогресса. Ее передача по электрическим сетям происходит на любые расстояния и с минимальными потерями, а использование ее по месту потребления экологически безвредно.

Самыми популярными в настоящее время являются конвективные и лучевые системы отопления помещения. Сущность *конвективного способа* отопления заключается в том, что с помощью различных нагревательных приборов нагревается воздух, который в виде конвективных потоков теплого воздуха распространяется по всему помещению и нагревает находящиеся в нем предметы.

Сущность *радиационного способа* отопления заключается в том, что с помощью источников длинноволнового инфракрасного излучения в первую очередь нагреваются предметы, находящиеся в помещении, а затем тепло от предметов передается воздуху.

При лучевом способе отопления температура у поверхности пола выше, чем у потолка, а температурный градиент по высоте составляет

приблизительно  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ . При температуре у поверхности пола  $18\text{-}19\text{ }^{\circ}\text{C}$  комфортная температура на высоте  $1,5\text{ м}$  может быть понижена на  $2\text{-}3\text{ }^{\circ}\text{C}$  без ущерба для самочувствия человека. За счет существенного снижения затрат на отопление потолочной части и снижения комфортной температуры лучевой способ отопления жилых помещений на  $20\text{-}25\text{ \%}$  экономичнее конвективного.

Инфракрасные обогреватели, получив тепловую энергию от нагревательного элемента, излучают ее на окружающие поверхности – пол, стены, мебель и т.п., нагревая их. В свою очередь, они отдают тепло воздуху. Тепловое излучение инфракрасных обогревателей не поглощается воздухом, поэтому вся энергия от прибора без потерь достигает обогреваемых поверхностей и людей в зоне его действия. Инфракрасные обогреватели позволяют избежать нерационального распределения температуры, когда теплый воздух, поднимаясь к потолку, уступает место холодному, поскольку нагревают не воздух, а поверхности твердых предметов. Не происходит избыточного нагрева воздуха.

Инфракрасный потолочный обогреватель с терморегулятором (рис. 1) удобнее и экономичнее моделей, лишенных подобной опции. С их помощью можно получить оптимально комфортную температуру и обеспечить ее сохранение на заданном уровне. Исключаются как перегрев и перерасход энергии, так и переохлаждение. Финансовая экономия при этом достигает  $30\text{ \%}$ .

На ИК-обогреватели потолочного типа устанавливают терморегуляторы различного типа.

Механические терморегуляторы имеют специальные чувствительные элементы. При понижении или

повышении контролируемого параметра контакты входа и выхода смыкаются или размыкаются. Механическим терморегуляторам не требуется электропитание. Возможный диапазон регулирования – от  $5\text{-}10$  до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Электронные терморегуляторы более дорогие по сравнению с механическими, но более эффективные. Параметры работы выводятся на ЖК-дисплей, а контроль температур выполняется автоматически. В зависимости от модели возможно программирование режима работы на несколько дней, неделю и даже больший срок.



Рис. 1. Устройство электронного инфракрасного нагревателя

Для решения поставленной цели необходимо разработать и создать макет системы отопления с применением инфракрасных излучателей, а также устройство регулирования температуры в помещении.

Разработанное устройство (рис. 2) состоит из следующих блоков: микроконтроллера Arduino UNO, кнопки, LCD-дисплея, датчика температуры, потенциометра, кнопки, диммера и лампы накаливания.

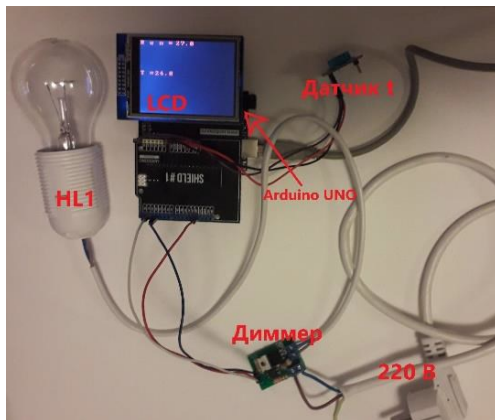


Рис. 2. **Терморегулятор инфракрасного обогрева:** LCD – дисплей;  $t$  – датчик температуры; МК Arduino UNO – микроконтроллер Arduino UNO; диммер – светорегулятор для управления светом; HL1 – лампочка

Микроконтроллер Arduino UNO содержит все присущие ему основные модули. Стандартные блоки каждого микроконтроллера – это центральный процессор (CPU), оперативная память (RAM), а также память программ (Flash-память) и внешние устройства. С его помощью происходит управление температурой, а также вывод графической информации на экран.

Потенциометр нужен для ручной регуляции яркости лампы накаливания. Датчик температуры воздуха является термистором – полупроводниковым резистором. Диммеры (светорегуляторы для управления светом) – это миниатюрный прибор, устанавливаемый вместо обычного, стандартного механического выключателя, позволяющий плавно регулировать яркость искусственного освещения.

**Выводы.** Произведен анализ классической системы отопления, осуществлен переход к нетрадиционной системе отопления в здании. Разработан макет терморегулирующего устройства, а также изучен процесс управления им.

### Список литературы

1. Панин, О. В. Расчет энергетической эффективности здания: методические указания по выполнению расчетно-графических работ / О. В. Панин, Н. А. Сташевская, Т. В. Скрипник. – М.: РУДН, 2016. – 45 с.
2. ГОСТ Р 50571.5.56-2013 (МЭК 60364-5-56:2009). Электроустановки низковольтные. Часть 5-56. Выбор и монтаж электрооборудования. Системы обеспечения безопасности.
3. Платт, Ч. Электроника для начинающих / Ч. Платт. – СПб: БХВ – Петербург, 2012. – 416 с.
4. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freearduino / У. Соммер. – СПб: БХВ – Петербург, 2012. – 256 с.

УДК 621.577

**Суханова Ксения Владимировна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (бакалавриат), гр. ТТ-41

Научный руководитель **Медяков Андрей Андреевич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

В современном мире все более актуальным становится вопрос экономики энергетических ресурсов. Ограниченные ресурсы полезных ископаемых, постепенное увеличение их стоимости заставляют искать новые источники энергии. А ухудшение экологической обстановки во всем мире предъявляет свои требования к подобным источникам энергоресурсов. Одним из решений в подобной ситуации является использование возобновляемых энергоресурсов.

Установки трансформации теплоты, затрачивая электрическую работу на привод компрессора, позволяют использовать теплоту низкопотенциальных источников. Это открывает возможности использовать ту теплоту, которая раньше нами просто выбрасывалась. Современные теплонасосные установки позволяют использовать низкопотенциальную теплоту различных источников: земляных пластов, грунтовых вод. Причем их температура не должна быть ниже минус 5 °С, что в зимних условиях для средней полосы России обеспечить достаточно сложно.

**Цель работы** – определить экономическую эффективность использования тепловых насосов на производственных предприятиях.



### Задачи:

- рассмотреть положительные стороны использования тепловых насосов;

- провести сравнительный анализ использования тепловых насосов и газовых котлов на производственных предприятиях.

Тепловые насосы обладают рядом преимуществ. В производстве их эффективное применение обуславливается рядом факторов:

- *экономичностью*. Они потребляют электроэнергию в малом количестве, нежели электрические котлы;

- *экологичностью*. Они не выбрасывают вредные отходы в окружающую среду;

- *безопасностью*. Они взрыво- и пожаробезопасны;

- *комфортом*. Они не создают шум, температуру в помещении можно регулировать;

- *простотой монтажа*. Их легко устанавливать, и не требуется буровой волокиты.

Для подтверждения одного из преимуществ мы произведем расчёт отопления производственного помещения тепловым насосом и газовым котлом и сравним их экономическую эффективность. Возьмем для примера цех по производству вагонки.

Исходные данные цеха:

- отапливаемая площадь 500 м<sup>2</sup>;
- высота стен 10 м;
- здание хорошо утеплено (стены изготовлены из сэндвич-панелей);
- температура зимой на улице -33 °С;
- комфортная температура в помещении 20 °С.

Рассчитаем потребляемую мощность помещения по следующей формуле:

$$R = (k \cdot V \cdot T) / 860,$$

где  $k$  – средний коэффициент потерь тепла здания;  $V$  – суммарный объем всего отапливаемого помещения;  $T$  – максимальный перепад температуры между улицей и внутри помещения.

Подставляем данные в приведенную выше формулу:

$$R = (1 \cdot (500 \cdot 100) \cdot (20 - (-33))) / 860 \approx 308 + 10 \% \text{ (запас)} \approx 339 \text{ кВт/ч.}$$

Для производства теплоты необходимо взять 4 тепловых насоса мощностью 85 кВт.

Все тепловые насосы будут установлены в отдельном помещении этого здания, в котором находится печь, от которой тепловые насосы

забирают теплоту сжигаемых отходов производства (щепа, стружка, древесная пыль).

Газовый котел возьмём мощностью 370 кВт (запас 20 %).

Приведем сравнительный расчёт экономической эффективности теплового насоса и газового котла:

Вид котла	Расход топлива	Стоимость топлива	Энергозатраты на отопление
Тепловой насос	17520 кВт/год	3,66 руб.	64123,2 руб./год
Газовый котёл	16060 м <sup>3</sup> /год	6,525 руб.	104791,5 руб./год

Согласно данным таблицы, энергозатраты на отопление с применением газового котла превышают почти в 2 раза энергозатраты на отопление с применением тепловых насосов.

Из расчета можно сделать вывод, что главное преимущество тепловых насосов заключается в его экономичности. Во-первых, энергозатраты на отопление меньше, а во-вторых, мы будем брать тепло из сжигаемых отходов производства.

Таким образом, тепловые насосы использовать на производстве выгодно, удобно, экологично, а главное – безопасно для работников промышленного предприятия.

### Список литературы

1. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учебное пособие для вузов / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
2. Богданов, С. Н. Холодильная техника. Свойства вещества: справочник / С. Н. Богданов, О. П. Иванов, А. В. Куприянов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.
3. Бабакин, Б. С. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе / Б. С. Бабакин, В. И. Стефанчук, Е. Е. Ковтунов. – М.: Колос, 2000. – 160 с.
4. Быстрицкий, Г. Ф. Проектирование котельной установки: учебное пособие / Г. Ф. Быстрицкий, А. В. Маряшев, В. А. Хлебников. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 52 с.
5. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник. ГСССД Р-776-98 / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. – М.: Физматент, 2003. – 164 с.

УДК 612.766

**Таныгин Дмитрий Анатольевич,**  
направление Конструирование и технология электронных средств  
(магистратура), гр. ЭВСм-11

Научный руководитель **Бусыгин Георгий Валентинович,**  
доцент кафедры проектирования и производства  
электронно-вычислительных средств  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСОСКЕЛЕТА С ПОМОЩЬЮ АДАПТИРУЕМОГО ОПОРНОГО УСТРОЙСТВА**

По данным отечественной и зарубежной литературы проанализировано состояние проблемы разработки и внедрения экзоскелетов. Показано, что в настоящее время приоритетными областями применения экзоскелетов являются военная промышленность и реабилитационная медицина.

**Актуальность темы исследования** обуславливается тем, что экзоскелет является сложным устройством с набором различных датчиков и механизмов. На основе проанализированной литературы выявлено, что одной из проблем использования экзоскелета является его устойчивость, поэтому у человека нарушены пределы комфортной зоны при его использовании.

**Цель** исследования – обеспечить устойчивость экзоскелета с помощью адаптируемого опорного устройства, которое обеспечит комфортность при передвижении по ровной местности, по пересеченной, по лестницам и т.д. без необходимости следить за уровнем поверхности, без манипулирования длиной устройства, поскольку это выполняется автоматически.

К опорному устройству предъявляется ряд требований:

- *простота*. Управление должно быть простым, и участие пациента в этом процессе минимально;
- *эффективность*. Устройство должно максимально помогать пациентам при передвижении;
- *точность*. Все процессы и измерения в устройстве должны точно отвечать указанным требованиям.

Выявлены способы реализации данной цели.

1. Во время предыдущего положения измеряется расстояние бесконтактным способом до участка поверхности, куда устройство будет установлено в следующем положении. По результату измерения длина ног конструкции экстраполируется для следующего положения, и за время переноса в следующее положение их длина устанавливается автоматически.

2. В момент постановки устройства в следующее положение измеряется угол отклонения виртуальной линии от горизонтальной плоскости. По результату измерения длина ног конструкции автоматически изменяется так, чтобы верхняя рама была параллельна горизонтальной плоскости и удалена относительно опорной поверхности на заданную высоту.

3. При постановке ходунков в следующее положение измеряется сила давления на каждую из ног устройства. При отсутствии давления длина ножек изменяется до появления опоры.

При реализации в совокупности данных способов получается адаптируемое опорное устройство, которое обладает рядом новых свойств:

а) готовность к худшему и лучшему исходу событий при помощи прогнозируемости системы;

б) как самообучающаяся система запоминает пределы комфортной зоны и при нарушении восстанавливается до записанных комфортных пределов;

в) фиксирование пройденного пути, психофизиологического состояния, связь с другими аналогичными устройствами.

**Вывод.** Проведено исследование устойчивости экзоскелета. Приведен пример адаптируемого опорного устройства, которое избавляет пациента от необходимости следить за уровнем поверхности перед собой, а также от манипулирования длиной устройства, поскольку это выполняется автоматически. Исследованные методы на практике могут быть применены в «умных» тростях, костылях и т.д.

### **Список литературы**

1. Биомехатронный комплекс нейрореабилитации – концепция, конструкция, модели и управление / В. Е. Павловский [и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2014. – № 111. – 19 с.

2. Изучение управляемого движения экзоскелета во фронтальной плоскости в режиме восстановления равновесия / С. Ф. Яцун, С. И. Савин, А. С. Яцун, А. В. Мальчиков // Экстремальная робототехника. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 236-245.

**Теплов Георгий Юрьевич,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(бакалавриат)

Научный руководитель **Федоров Денис Игоревич,**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин  
*Чебоксарский институт (филиал)*

*ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Чебоксары*

## РАЗРАБОТКА ПРИЦЕПА-КОНТЕЙНЕРА, ТРАНСФОРМИРУЕМОГО В ОПУРУ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Наводнение — значительное затопление определённой территории земли в результате подъёма уровня воды в реке, озере, водохранилище или море, наносящее материальный ущерб экономике, социальной сфере и природной среде. Большинство возникающих наводнений является относительно слабым. Они наносят не очень большой материальный ущерб, зависящий от силы явления и особенностей местности. Также изредка могут приводить к эвакуации людей.

Иногда случаются очень сильные или даже катастрофические наводнения. Они способны затопливать целые поселения, нанося огромный материальный ущерб. В таких случаях проводится массовая эвакуация населения, но всё равно часто гибнут люди. К счастью, столь опасные затопления происходят довольно редко.

На диаграмме (рис. 1) показан критический уровень воды в Хабаровске, Комсомольске-на-Амуре, Магаданской области.

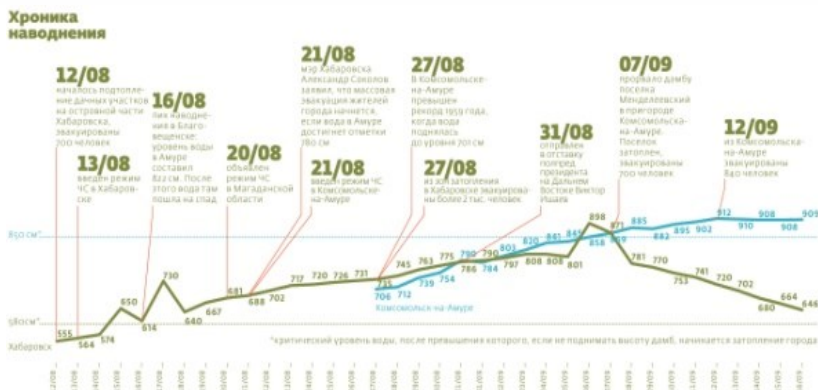


Рис. 1. Диаграмма критического уровня воды в регионах

В результате наводнений страдают транспортные средства. Современные автомобили напичканы электроникой, а многие элементы двигателя, рулевого управления и других агрегатов чувствительны к попаданию воды, что приводит к различным поломкам, а зачастую и выходу из строя всего автомобиля.

Одним из эффективных путей снижения воздействия воды на транспортное средство является разработка прицепа-контейнера, трансформируемого в опору транспортного средства (рис. 2-3).

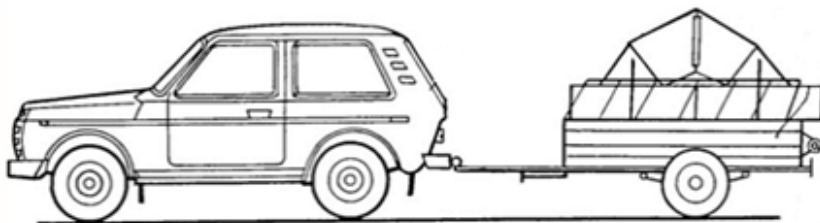


Рис. 2. Прицеп-контейнер в сцепке с автомобилем



Рис. 3. 3D- модель надувной опоры транспортного средства

На рисунке 2 показан прицеп-контейнер в сцепке с автомобилем. А на рисунке 3 изображена 3D-модель в рабочем состоянии.

Прицеп-контейнер, трансформируемый в опору транспортного средства, будет широко востребован в таких регионах, которые наиболее подвержены затоплениям. Прицеп-контейнер будет презентован дилерским центрам, которые станут добавлять их в комплектацию к автомобилю. Разработка будет широко востребована среди путешественников, посещающих те места, где возможны затопления, а также чтобы переправить автомобиль через небольшие водные препятствия. Проект бу-

дет предложен магазинам автозапчастей, которые станут продавать прицеп-контейнер, а также организуются арендные пункты в этих магазинах автозапчастей.

Прицеп-контейнер, трансформируемый в опору транспортного средства, небольшой, не будет доставлять хлопот в эксплуатации и обслуживании для быстрого трансформирования, достаточно вместительный и практичный, чтобы решить большинство задач.

Платформа имеет большую площадь для разного типа транспорта. Гибкое ограждение подушки в районе бортов достаточно податливо, чтобы предотвращать опрокидывание, это позволяет платформе безопасно стоять на воде. Благодаря своей ширине и большому диаметру баллонов надувного борта безопасен при скольжениях по воде – прицеп-контейнер, трансформируемый в опору транспортного средства, не будет тонуть за счёт своего гибкого надувного ограждения. При длине корпуса 6-8 м в нем разместится практически любой транспорт.

Ограждение воздушной подушки состоит из двух бортовых надувных скегов, центрального надувного скега, носовой и кормовой «юбки». Материал скегов – синтетическая ткань с покрытием из ПВХ и полиуретана. Нижние поверхности скегов защищены полиуретановыми протекторами. Каждый бортовой скег разделен на 4 герметичных отсеках. Прицеп-контейнер, трансформируемый в опору транспортного средства, надежен для коммерческого использования. Для увеличения площади платформы (повышения грузоподъемности) гибкое ограждение по бортам крепится к надувным баллонам (надувной борт), которые также служат для устойчивости на плаву.

Ремонт же не представляет сложностей, так как нет высоких требований к герметичности наложенной заплатки. В качестве временной меры разрыв может быть скреплен изнутри самоклеющимся материалом. Как основной материал используется финская ПВХ-ткань плотностью 850 г/м. Места соприкосновения с поверхностью воды защищает от истирания листовая полиуретан. В качестве опции возможно изготовление гибкой подушки из более дорогих материалов плотностью 900 г/м с покрытием из полиуретанового состава или 1150 г/м с покрытием из морозостойкого ПВХ-состава.

Конструкция прицепа-контейнера позволяет транспортировать платформу по местности. Платформа будет храниться в прицепе-контейнере, которую с лёгкостью можно разложить в опору транспортного средства для эксплуатации при наводнении. Сама опора не представит трудности для эксплуатации и ремонта, так как не имеет сложных установок и систем.

**Вывод.** Прицеп-контейнер, трансформируемый в опору транспортного средства, будет отличным спасением автотранспортного средства в критических ситуациях, а также при переправах на небольших участках рек.

#### **Список литературы**

1. Георгиевский, Ю. М. Гидрологические прогнозы / Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин. – СПб.: Рос. гос. гидрометеоролог. ун-т, 2007. – 436 с.
2. Черепанова, Е. О. Масштабные наводнения в России за последние 22 года / Е. О. Черепанова, С. А. Стрекалова // Приоритетные направления развития науки и образования. – 2015. – № 2(5). – С. 479-480.

УДК 66.074.371

**Фазуллин Динар Рамилевич,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ПТСм-1-17

Научный руководитель **Ваньков Юрий Витальевич,**

д-р техн. наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **НИЗКОЗАТРАТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА**

**Цель работы** – реализация абсорбционного процесса очистки попутного нефтяного газа от сероводорода с использованием воды.

**Актуальной проблемой** нефтегазового сектора Российской Федерации является утилизация и рациональное использование попутного нефтяного газа (ПНГ), который в отличие от природного газа, состоящего в основном из метана, содержит значительное количество этана, пропана, бутана и других предельных углеводородов, а также неуглеводородных компонентов, таких как азот, углекислый газ, сероводород.

Из-за отсутствия надежной технологии промысловой сероочистки попутного нефтяного газа целый ряд месторождений Татарстана, Башкортостана, Удмуртии, Коми, а также Самарской, Оренбургской, Пермской и других областей имеют ограниченную добычу, законсервированы либо утилизируют газ сжиганием на факелах, нанося значительный экологический ущерб токсичными сернистыми выбросами.



В соответствии со статистическими данными уровень полезного использования попутного нефтяного газа в России за 16 лет, несмотря на все принимаемые меры, остается на уровне около 87,8 %. Оставшиеся 12,2 % приходятся на факельное сжигание ПНГ. По итогам 2016 г. целевого показателя в 95 % достигли две компании: ОАО «Сургутнефтегаз» и ПАО «Татнефть» [1].

Одним из наиболее перспективных вариантов промысловой утилизации попутного нефтяного газа небольших месторождений сернистой нефти является его использование для выработки электрической и тепловой энергии на турбинных станциях. Однако наличие в составе ПНГ сероводорода не позволяет применять его в качестве топливного газа большинства энергоустановок и значительно сокращает срок службы.

При любом варианте использования сернистого ПНГ (как топлива, сырья переработки) необходимо предварительное удаление сероводорода.

Сероводород обладает высокой способностью растворяться как в нефти, так и в воде. Растворимость сероводорода в воде хоть и несколько ниже, чем в нефти, но превышает растворимость в воде таких коррозионноактивных газов, как  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ .

Очистка ПНГ на большинстве установок сероочистки требует больших капитальных затрат. Особенно сложно организовать процесс сероочистки на малых и средних месторождениях, а также в условиях неразвитой инфраструктуры. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование абсорбционного процесса очистки попутного нефтяного газа от сероводорода, где в качестве абсорбционной жидкости используется вода.

Польские ученые предложили закачивать  $\text{H}_2\text{S}$  в нижние водонасыщенные интервалы продуктивного пласта. Такое предложение, несмотря на некоторое закономерное увеличение с глубиной пластовой температуры, гарантирует, что  $\text{H}_2\text{S}$ , находясь под большим давлением, не будет выделяться из воды и насыщать вышележающие УВ. Предложение польских ученых расширяет возможности разработанного абсорбционного способа очистки углеводородных газов от  $\text{H}_2\text{S}$ , когда в качестве абсорбента используется вода, которую затем можно будет закачивать в подстилающие водонасыщенные интервалы продуктивного пласта, не опасаясь выделения из этой воды  $\text{H}_2\text{S}$  [2].

**Вывод.** Предлагаемая технология очистки попутного нефтяного газа от  $\text{H}_2\text{S}$  экологически безопасна, обеспечивает защиту окружающей среды и не требует утилизации отработанных химических реагентов.

### Список литературы

1. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!»: аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России / П. А. Кирюшин, А. Ю. Книжников, С. А. Уваров [и др.]. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. – 88 с.
2. Месторождение Узень. Проблемы и решения / Б. Т. Муллаев, А. Ж. Аби-това, О. Б. Саенко, Б. Ж. Туркпенбаева. – Алматы: Нур-Принт, 2016. – Том 2. – С. 455-459.

УДК 550.812.14

**Фоминых Кристина Сергеевна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ТТм-11  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

Научный руководитель **Ваньков Юрий Витальевич,**

д-р техн. наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики и систем  
теплоснабжения  
*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

**Актуальность.** Повышение стоимости ремонтно-технического обслуживания, запасных частей, монтажных и аварийно-восстановительных работ в условиях дефицита финансовых средств диктует необходимость разработки и внедрения новых технологий технического обслуживания. В связи с этим актуальными являются научные разработки, направленные на совершенствование методов и средств оценки технического состояния теплоэнергетического оборудования.

В настоящее время задача поиска дефекта трубопровода и определения причины его возникновения занимает особое место, и от ее решения зависят не только время ограничения подачи тепловой энергии, движения транспорта и пешеходов, но и затраты, связанные с объемом проведения земляных работ и последующего благоустройства по восстановлению нарушенного ландшафта местности.

Эксплуатирующие организации используют набор диагностических устройств и приборов, но особую актуальность имеют ресурсосберегающие технологии, позволяющие сокращать время выполнения работ и экономить трудовые ресурсы.

В настоящее время в России наиболее распространенными **методами диагностики трубопроводов** тепловых сетей подземной прокладки являются [1, 2]:

- испытания участков трубопроводов путем создания внутри трубы давления не менее 1,25 от рабочего;
- акустический метод, при использовании которого с помощью виброакустических датчиков и дальнейшей обработки их сигналов на компьютере определяется степень износа стенки трубы или осуществляется местонахождение повреждения;
- метод магнитометрии с помощью внутритрубного дефектоскопа, определяющего сплошность металла;
- метод шурфовок грунта с вскрытием канала инженерной сети. Этот метод основывается на внешнем осмотре строительных конструкций и состоянии теплоизоляционных материалов и трубопровода.

В г. Йошкар-Оле мониторинг показал, что на ветхих ТС порывы происходят как в процессе проведения гидравлических испытаний, так и сразу после включения в работу. Количество порывов после пуска составляет до 50 % от количества порывов в процессе проведения гидравлических испытаний. Для выявления будущих порывов не обязательно использовать гидравлические испытания, с этим успешно может справиться акустический контроль. Акустическая инженерная диагностика трубопроводов заменяет гидравлические испытания и уменьшает стрессовое состояние металла, вызванное ими [3].

Применение метода акустической томографии трубопроводов и ранжирование участков, выводимых в перекадку по результатам диагностики, позволяет снизить количество утечек при снижении объемов перекадок. Снижению количества утечек также способствует информация об интервалах, ранжируемых как участки наихудшего состояния, и проведение на них предупредительных ремонтных работ. Высокая точность обнаружения мест повреждения трубопроводов значительно сокращает затраты времени на обнаружение порывов ТС, уменьшает затраты на их устранение. Каждая утечка, точно обнаруженная с помощью течеискателя, позволяет избежать в среднем 2 шурфовки.

Обобщая опыт определения утечек, можно сформулировать ряд **выводов**.

1. Для точного нахождения места утечки и ее оперативной локализации предпочтительно применять несколько методов выявления порывов.
2. Корреляционный течеискатель «Вектор-2001» определяет место порыва с приемлемой точностью, используется в любое время года,

определяет течи минимальной интенсивности. Практическая точность определения места шурфовки не превышает 95 %.

В таблице [4] приведены затраты в рублях на ликвидацию одной аварии трубопровода разного диаметра.

При расчете стоимости в состав затрат включены работы по восстановлению благоустройства, срезке и подсыпке грунта при планировке, а также работы по разборке и устройству дорожного покрытия.

#### **Затраты на ликвидацию одной аварии трубопровода разного диаметра**

Диаметр труб, мм	Затраты, руб.
80	23494,97
100	27298,51
150	31120,41
200	35545,28
300	45947,08
400	59662,95

При таких условиях затрат резко возрастает необходимость в научных разработках, направленных на решение задач, связанных с совершенствованием методов и средств оценки технического состояния теплоэнергетического оборудования.

Повреждаемость городских тепловых сетей весьма велика и имеет явно выраженную тенденцию к дальнейшему повышению по мере старения сетей. Основной причиной высокой повреждаемости является интенсивная местная очаговая почвенная коррозия, причина которой – доступ влаги к незащищенной поверхности трубы. Борьба с высокой повреждаемостью должна вестись как во вновь строящихся, так и в существующих сетях.

#### **Список литературы**

1. Вакатов, А. В. Опыт инженерной диагностики тепловых сетей г. Тольятти / А. В. Вакатов, А. Е. Буклов // *Новости теплоснабжения.* – 2006. – № 9 (73).
2. Звягинцев, М. Ю. Опыт диагностики трубопроводов тепловых сетей методом акустической томографии в сочетании с бесконтактным магнитометрическим методом / М. Ю. Звягинцев // *Новости теплоснабжения.* – 2012. – № 03 (139).
3. Матвеев, В. И. Опыт диагностики тепловых сетей на МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1» / В. И. Матвеев // *Новости теплоснабжения.* – 2001. – № 7 (11). – С. 24-27.
4. Приложение к Приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 21 июля 2017 г. № 1011 НЦС 81-02-13-2017.

**Хафизова Алия Ильгизаровна,**  
направление Техническая физика, гр. ТПЭМ-1-17

Научный руководитель **Дмитриев Андрей Владимирович,**  
д-р техн. наук, заведующий кафедрой теоретических основ теплотехники  
*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **ТЕПЛОМАССОБМЕН В СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Сегодня в мире наблюдается дефицит пресной воды, и с каждым годом происходит его рост. Водный дефицит заставляет задуматься о том, каким образом используются водные ресурсы. В развитых странах большое количество воды приходится на промышленные нужды. Особенно опасны загрязненные сточные воды промышленных предприятий, содержащие в себе различные ядовитые химикаты. В связи с этим возникает необходимость существенно снизить сброс сточных вод и общее потребление воды предприятием.

Оборотное водоснабжение – наиболее прогрессивный способ обеспечения водой промышленных предприятий всех отраслей. Охлаждение оборотной воды на предприятиях все чаще происходит в градирнях. Существует большое разнообразие конструкций градирен, различных по способу организации процесса взаимодействия жидкой и газовой фаз [1].

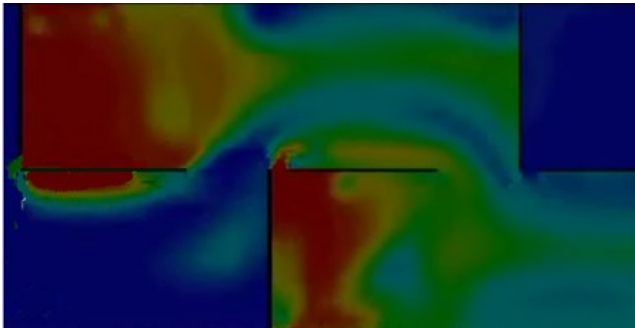
Наибольшую популярность приобрели испарительные вентиляторные градирни за счет своих малых габаритов и высокой эффективности охлаждения жидкости. Одним из основных элементов градирни является ороситель, который отвечает за его охлаждающую способность. Существующие конструкции оросителей отличаются своей эффективностью, оригинальностью, однако и у них наблюдается ряд недостатков: малая площадь контакта газовой и жидкой фаз, плохая смачиваемость, высокая металлоемкость конструкций, сложность при очистке данных конструкций. Чтобы решить данные проблемы, предлагается внедрять высокоэффективные контактные устройства, которые увеличили бы удельные массы и потоки тепла, а также обеспечили снижение гидравлического сопротивления [2].

В данной работе представлены разработанные струйно-плёночные контактные устройства [3], которые позволяют значительно увеличить эффективность тепломассообменных процессов, проходящих в рабочей области. В связи с особенностью конструкции удастся снизить затраты

на установку каплеуловителей, так как верхние ступени контактного устройства препятствуют уносу жидкости из градирни. Конструкция контактного устройства представляет собой множество сливных стаканов, расположенных в шахматном порядке по вертикали и горизонтали, с вертикальными перегородками посередине. В связи с таким расположением стаканов движение потока газа в устройстве носит зигзагообразный характер.

Для улучшения работы существующего устройства в нижней части стенок стаканов были выполнены отверстия. По 8 отверстий диаметром 5 мм в каждом стакане. Также по центру днища расположили по одному отверстию диаметром 10 мм.

Для того чтобы определить, какие результаты приносят вносимые изменения, конструкция была смоделирована в программном пакете. Впоследствии были проведены численные расчеты (см. рисунок). При расчете использовался метод объема жидкости (VOF), позволяющий учитывать взаимодействие двух несмешивающихся фаз.



**Численное моделирование взаимодействия жидкой и газовой фазы в элементе устройства**

При численных исследованиях изменялся расход жидкости в тарелках. В ходе исследований была обнаружена следующая зависимость: с ростом уровня жидкости увеличивается предельное значение среднерасходной скорости воздуха. В результате численных экспериментов было выявлено, что устройство работает достаточно эффективно при скорости 3,2 м/с.

**Вывод.** Рассмотренное контактное устройство позволяет охлаждать жидкость достаточно эффективно. Также были получены зависимости скоростей.

### Список литературы

1. Крюков, О. В. Повышение энергоэффективности водооборотных систем предприятий при оптимизации управления градирнями / О. В. Крюков // Вестник ПНИПУ. – 2016 – № 19. – С. 5-27.
2. Эффективные конструкции структурированных насадок для процессов теплообмена / Г. Б. Дмитриева, М. Г. Беренгартен, М. И. Ключенкова, А. С. Пушнов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2005. – № 8. – С. 15-17.
3. Impact of the liquid level in the jet-film contact devices on the heat-and-mass transfer process / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, L. V. Kruglov // МАТЕС Web of Conferences, 2017. – С. 129.

УДК 621.577

**Храмова Елена Валерьевна,**

направление Промышленная теплоэнергетика (бакалавриат), гр. ПТС-1-15

Научный руководитель **Плотникова Людмила Валерьяновна,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛОТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ТЭЦ**

Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) сопровождается значительным количеством сбросной тепловой энергии. Использование сбросной энергии позволит увеличить экономические показатели функциональности ТЭЦ, что соответствует «стратегической цели государственной энергетической политики в сфере повышения энергетической эффективности экономики» [1].

Наиболее рациональным способом повышения энергоэффективности энергетических станций является модернизация системы охлаждения конденсаторов паровых турбин ТЭЦ.

Типовые схемы охлаждения паровых турбин имеют большие потери теплоты, приводящие к снижению экономической эффективности ТЭЦ, значительным вредным выбросам в окружающую среду. При этом для данных схем необходимы крупные системы обеспечения конденсаторов

турбин охлаждающей водой, а именно береговые насосные станции и водосбросы прямоточных систем.

Модернизацию системы охлаждения можно достичь благодаря внедрению трансформаторов теплоты (ТТ), что позволит отбирать теплоту от нагретой в конденсаторе турбины охлаждающей воды, повышать потенциал этой теплоты и полезно использовать ее для собственных нужд тепловой электрической станции. Применение ТТ позволит возвращать в цикл станции часть теплоты, которая ранее сбрасывалась.

Для целесообразного использования теплоты после повышения ее потенциала в ТТ предлагается включить конденсатор ТТ в воздухоподогреватель дутьевого воздуха парового или водогрейного котла с целью предварительного подогрева дутьевого воздуха перед основными воздухоподогревателями до требуемой температуры, установленной правилами [2].

Данная производственная схема позволяет отказаться от неэкономичного предварительного подогрева воздуха в калориферах, греющим агентом в которых, как правило, является высокопотенциальный пар производственного отбора, и увеличить выработку электроэнергии на тепловом потреблении.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что значительно увеличить уровень экономичности и снизить вред для окружающей среды представляется возможным при рациональном применении энергии, которая выделяется при конденсации вторичного пара турбин.

Новые принципы применения ТТ и обмена теплотой с низкопотенциальным теплоносителем системы централизованного холодного водоснабжения или дутьевого воздуха позволяют экономически эффективно использовать «сбросную» теплоту конденсаторов турбинных установок ТЭЦ [3].

#### **Список литературы**

1. Распоряжение правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года» // Собрание законодательства РФ. – 10.10.2011. – № 41 (ч. II).
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – 16-е изд. – Екатеринбург: Уральское юрид. изд-во, 2003. – 256 с.
3. Замалеев, М. М. Организация полезного использования «сбросной» теплоты на ТЭЦ / М. М. Замалеев, В. Шарапов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 11-12. – С. 45-54.



УДК 620.193.22/9

**Храмцова Людмила Александровна**,  
направление Пожарная безопасность (специалитет), гр. ПБ-415;  
**Байдюк Юрий Александрович**,  
направление Пожарная безопасность (специалитет), гр. ПБ-316

Научный руководитель **Насырова Элина Сагитовна**,  
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности  
*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа*

## **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ ПИРОФОРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РЕЗЕРВУАРАХ**

**Цель работы** – рассмотреть опасность пирофорных отложений; изучить современные методы предотвращения возгорания пирофорных отложений на внутренних стенках резервуаров в целях предупреждения последующих аварий, происходящих на предприятиях нефтегазовой промышленности из-за возгорания пирофоров.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью разработки и применения веществ и материалов, а также методов обработки, способных снизить опасность самовозгорания пирофорных отложений в резервуарах.

Пирофоры – вещества, способные самовозгораться в присутствии воздуха при любой температуре. Самовозгорание пирофоров возможно при различных температурах, даже при очень низких (зафиксированы случаи возгорания при минус 20 °С). Они представляют собой продукты сероводородной коррозии – сернистые соединения железа, органические смолистые вещества и механические примеси, которые в виде черного осадка образуются на внутренних поверхностях оборудования (резервуаров) при хранении в них сернистой нефти.

На опасность самовозгорания пирофорных отложений оказывают влияние место образования и толщина слоя отложений, процентное содержание серы в нефти. Взрывы и пожары в резервуарах, вызванные самовозгоранием пирофорных отложений, происходят чаще всего весной и осенью в вечерние часы, во время или вскоре после откачки жидкости [1].

Ежегодно из-за самовозгорания пирофорных отложений происходят взрывы и пожары в резервуарах. Например, 28.03.2011, ОАО «Ново-Уфимский НПЗ», взрыв с отрывом крыши резервуара с последующим пожаром; 30.05.2011, ОАО «Камчатнефтепродукт», взрыв; 30.11.2012,

ПАО АНК «Башнефть», пожар на резервуаре; 16.03.2016, «Башнефть-УНПЗ», пожар при наливе нефтепродукта в резервуар; 30.10.2018, Хохряковское месторождение (Ханты-Мансийский автономный округ), пожар в ходе плановых работ.

Среди основных рекомендаций по борьбе с пирофорами выделяются предварительная очистка сырья от сернистых соединений; защелачивание нефти и нефтепродуктов, поступающих на переработку; использование материалов, устойчивых к сероводородной коррозии; применение ингибиторов, образующих на поверхности металла защитную пленку. Однако данные методы полностью не исключают образования пирофорных соединений.

Одним из современных способов борьбы с пирофорными отложениями является применение полимерных материалов для изготовления резервуаров, что снимает необходимость обеспечения антикоррозионной защиты, требуемой для металлических емкостей, и исключает образование пирофорных отложений. Полимерный двустенный резервуар предназначен для подземного хранения, приема и выдачи светлых нефтепродуктов. Резервуар содержит внутреннюю и внешнюю стенки. Один из слоев внутренней стенки, непосредственно контактирующий с нефтепродуктом, снабжен электростатической защитой.

Ввиду отсутствия надежных способов предупреждения образования пирофорных сульфидов железа полная безопасность при разгерметизации оборудования может быть обеспечена только своевременной флегматизацией пирофорных соединений. Наиболее простой и часто применяемый на практике способ дезактивации пирофорных отложений – смачивание их водой с целью предотвращения взаимодействия с кислородом воздуха. В реальных условиях осуществляют пропаривание оборудования перегретым паром длительное время (до 3-4 суток). Смачивание пирофорных отложений водой не обеспечивает пожарной безопасности на объекте, так как они быстро высыхают и вновь становятся способными к самовозгоранию.

Еще один способ предотвращения самовозгорания отложений заключается в заполнении свободного пространства резервуаров газообразным азотом и содержанием свободного кислорода не более 5 % об. Предлагаемый способ имеет недостатки: наличие специального оборудования, дорогостоящие инертные газы и пены.

Однако в качестве окисляющей среды для заполнения резервуаров могут использоваться водные растворы гидроксида натрия, пероксида водорода и перманганата калия при одновременном применении с трисилоксанами для диспергирования отложений.

В настоящее время активно разрабатываются современные химические реагенты: трилон Би водный раствор гидролизованного привитого сополимера акрилонитрила и бутадиенстирольного каучука. Основным их недостаток – дорогостоящие реагенты и сложная схема обработки.

**Выводы.** На основе анализа основных способов предотвращения возгораний пиррофорных отложений в резервуарах установлено, что в первую очередь проводится очистка резервуаров горячим паром или химическими реагентами. Наиболее перспективным направлением защиты является создание полимерных резервуаров.

### **Литература**

1. Оценка потенциальной опасности объектов хранения нефти и нефтепродуктов / А. Н. Елизарьев, А. В. Харламова, Д. А. Тараканов [и др.] // материалы международной научно-практической конференции «Августин Бетанкур: от традиций к будущему инженерного образования». – 2018. – С. 73-76.

УДК 621.85-52; 531/534

**Чернышова Ольга Ивановна, Солоницын Александр Андреевич,**  
специальность Строительство уникальных зданий и сооружений (специалитет),  
гр. СУЗиС-31,

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола;*

**Лоскутов Михаил Юрьевич,**  
направление Прикладная математика и информатика (бакалавриат), гр. 09-812,  
*ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань*

Научный руководитель **Лоскутов Юрий Васильевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов  
и прикладной механики

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

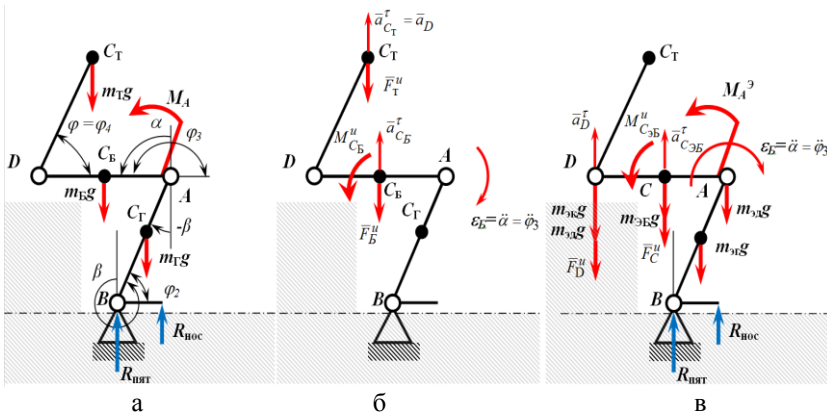
## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЬШЕГО МОМЕНТА В КОЛЕННОМ ШАРНИРЕ ЭКЗОСКЕЛЕТА ПРИ ВСТАВАНИИ С ОПОРЫ**

В настоящее время широкое распространение получают экзоскелеты. Подобные антропоморфные конструкции обычно закрепляются на конечностях и/или корпусе человека и предназначены для воспроизведения локомоций с возможным масштабированием по усилиям [1]. В отличие от экзоскелетов, предназначенных для облегчения движений или усиления функциональных возможностей человека, экзоскелет ме-

дицинского назначения должен полностью заменять локомоции человека [2]. Следовательно, к нему должны быть предъявлены особые требования, а именно: повышенная прочность и жесткость звеньев и узлов, способных полностью удерживать вес тела человека (до 100 килограммов), высокая точность системы позиционирования суставов человека с кинематическими парами экзоскелета, а также приемлемая надежность системы креплений [3, 4]. Поэтому **актуальность работы** обусловлена необходимостью подбора конструктивных элементов и приводов под заданную нагрузку и режимы работы устройства.

**Цель работы** – силовой анализ механизма системы «человек – экзоскелет» при переходе из сидячего на опоре положения в вертикальное и обратно.

Рассматриваемый экзоскелет нижних конечностей [1] состоит из корпуса и двух ног. Каждая нога включает три последовательных звена, шарнирно связанных между собой: бедро, голень и стопу. Относительное угловое движение соответствующих пар звеньев обеспечивают четыре вращательных электропривода, совмещенные с коленными и тазобедренными шарнирами. Стопа крепится упругой связью. Экзоскелет крепится на пациенте системой ремней. В шарнирах также установлены датчики угла поворота, а в стопах – датчики давления. Блок управления и аккумуляторы расположены в отдельном модуле на спине человека.



**Рис. 1. Кинестатика человека (а и б) и экзоскелета (в) при «вертикализации» в наиболее нагруженном положении**

Представим модель совершающего движения человека как перевернутый маятник с закрепленной точкой  $B$  с тремя степенями свободы

(рис. 1, а, б). Рассмотрим движение человека при вставании из седа («вертикализации» после сидения) на опоре. В наиболее нагруженном положении предполагаем, что движение происходит только в направлении угла  $\alpha$ , то есть точка  $A$  в данном положении в текущий момент времени неподвижна. В соответствии с принципом Даламбера для части конструкции  $ADC$  запишем уравнение кинестатики:

$$\sum M_A(F_k) = m_B g |AC_B| + M_A + m_T g (|AD| - |DC_T| \cos \varphi) + F_B^u |AC_B| + \\ + M_B^u + F_T^u (|AD| - |DC_T| \cos \varphi) = 0.$$

Для экзоскелета (рис. 1, в) получаем аналогично

$$\sum M_A(F_k) = m_{\text{эБ}} g |AC| + M_A^{\text{э}} + m_{\text{эТ}} g |AD| + m_{\text{эД}} g |AD| + \\ + F_C^u |AC| + M_B^u + F_D^u |AD| = 0.$$

Главные векторы и моменты сил инерции  $i$ -го звена находим как  $F_i^u = m_i a_{ci}$  и  $M_{ci}^u = I_{ci} \varepsilon_i$ .

Предполагаем, что в данном положении торс человека движется по ступательно по окружности вместе с шарниром  $D$ . С учетом положений локальных центров тяжести сегментов тела человека, центров тяжести стержней и точечных масс экзоскелета после математических действий получаем величины вращающих моментов в наиболее нагруженном коленном шарнире.

Для человека ростом 190 см и весом 100 кг при весе экзоскелета около 20 кг значения моментов в коленном суставе получаются следующие:

- вращающий момент в одном сервоприводе системы человек-экзоскелет равен 180 Нм;
- статическая составляющая момента будет 164 Нм;
- результирующий момент человека без экзоскелета составляет 132 Нм.

Сопоставление значений моментов с данными других авторов [3-6] показало сходимость результатов при одинаковых исходных данных для оператора весом 60 кг и 70 кг.

Проведена проверка равновесия системы «человек – экзоскелет» (рис. 2). Полученные результаты исключают опрокидывание устройства с оператором.

**Выводы.** Расчетным путем получены значения наибольшего момента в коленном шарнире системы «человек – экзоскелет» в самом нагруженном положении при вставании с опоры для предельных параметров тела оператора.

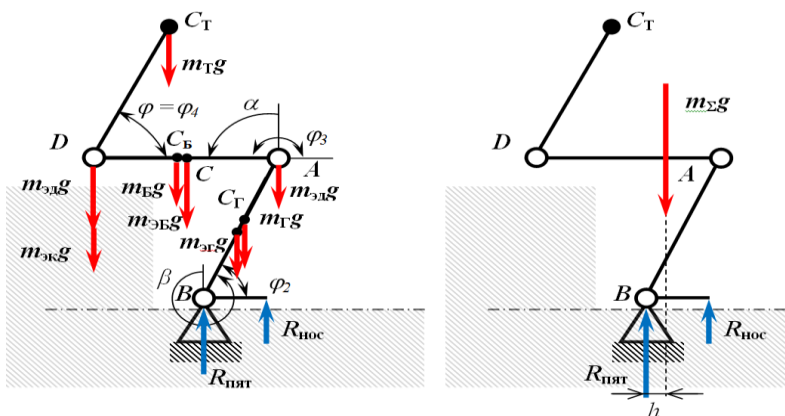


Рис. 2. Определение отвесной (вертикали) центра тяжести человека в экзоскелете

Сопоставление полученных значений с данными других авторов и проверка на опрокидывание системы «человек – экзоскелет» показали сходимость результатов.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»», шифр 2017-218-09-1807, утверждённого по постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.*

### Список литературы

1. Схемные решения системы управления реабилитационным экзоскелетом медицинского назначения / А. В. Капустин, Ю. В. Лоскутов, Д. В. Скворцов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2018. – № 2 (38). – С. 77-86.
2. Биомехатронный комплекс нейрореабилитации – концепция, конструкция, модели и управление / В. Е. Павловский [и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2014. – № 111. – 19 с.
3. Турлапов, Р. Н. Модели и алгоритмы управления движением экзоскелета для вертикализации и расширения функциональных возможностей человека / Р. Н. Турлапов. – Курск: ФГБОУ ВО «Юго-Запад. гос. ун-т», 2015. – 172 с.
4. Моделирование процессов вставания экзоскелета из положения сидя / Г. Я. Пановко, С. И. Савин, С. Ф. Яцун, А. С. Яцун // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2016. – № 3. – С.19-24.

5. A Fuzzy Controller for Lower Limb Exoskeletons during Sit-to-Stand and Stand-to-Sit Movement Using Wearable Sensors / Taslim Reza S. M., Ahmad N., Choudhury I. A. et al. // *Sensors*. – 2014. – 14 (3). – P. 4342-4363.

6. Jatsun, S. Of exoskeleton movement in verticalization process / Jatsun S., Savin S., Bezmen P. // *New Developments in Pure and Applied Mathematics*. – 2015. – P. 83-87.

УДК53.084.2.389

**Шакурова Розалина Зуфаровна,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура), гр. ПТСм-1-18

Научный руководитель **Гапоненко Сергей Олегович,**

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

## **УСТАНОВКА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ**

**Цель работы** – разработка установки для калибровки пьезодатчиков вибрации.

Современные технологии требуют непрерывного контроля над многими параметрами технологического процесса и контроля состояния оборудования. Большинство неисправностей агрегатов и оборудования выражается в повышении вибрации.

Вибрация — это механические колебания машин и механизмов, которые характеризуются такими параметрами, как частота, амплитуда, колебательная скорость, колебательное ускорение. Анализ таких параметров вибраций позволяет выявлять самые разные дефекты.

Для измерения абсолютной вибрации применяются пьезоэлектрические датчики. Принцип его работы основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте, то есть на преобразовании механической энергии в электрическую.

При прямом пьезоэффекте деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению электрического напряжения между поверхностями деформируемого твердого тела.

Когда к пьезоэлектрику прикладывается механическое напряжение и он деформируется, это приводит к возникновению электрической разности потенциалов между поверхностями деформируемого твердого тела. Величина деформации прямо связана с разностью потенциалов

между его гранями. Это позволяет по измеренной величине напряжения узнать величину действующей на пьезокристалл силы.

Для получения достоверных результатов при измерении вибрации необходимо знать калибровочные параметры датчиков.

Необходимость калибровки пьезоэлектрических датчиков связана с тем, что параметры конкретного датчика зависят от его конструкции: размера, формы, материала корпуса и т.д. Учесть все эти факторы в расчётах невозможно, поэтому проще экспериментально определить параметры датчика – его чувствительность в рабочем диапазоне амплитуд и частот.

Для этих целей разработана установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков, принципиальная схема которой изображена на рисунке 1.

Вибростенд необходим для создания регулируемого воздействия на калибруемые пьезодатчики. Он состоит из массивного основания, подвижной металлической пластины и направляющей системы, выполненной в виде пружины с направляющим стержнем. Фотография вибростенда представлена на рисунке 2.

Массивное основание представляет собой металлическую плиту с опорами для установки на ровную поверхность. Благодаря большой толщине основания предотвращается появление нежелательных колебаний в самом основании, что может привести к недостоверным результатам лабораторных исследований.

На основании устанавливается система из 4 направляющих шпилек с размещёнными на них пружинами одинаковых размеров и параметров. Шпильки заворачиваются в специально предназначенные отверстия. Подвижная пластина выполнена в виде листа стали толщиной 1,2 мм. Данная пластина необходима для установки на неё калибруемых датчиков.

Между подвижной пластиной и основанием устанавливается электроакустический излучатель, который выполняет функцию генератора колебаний. В качестве генератора звуковой частоты используется про-

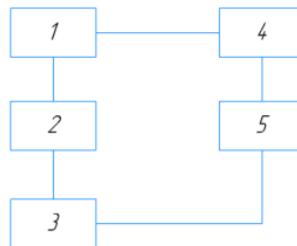


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 – вибростенд; 2 – усилитель колебаний звуковой частоты; 3 – генератор колебаний звуковой частоты; 4 – аналогово-цифровой преобразователь; 5 – ПК для регистрации и дальнейшего анализа выходных параметров датчиков



грамма с возможностью регулировки частоты сигнала в широком диапазоне. Чувствительность пьезодатчиков определяют измерением параметра входного сигнала, прикладываемого к датчику генератором колебаний, и параметра выходного сигнала датчиков.

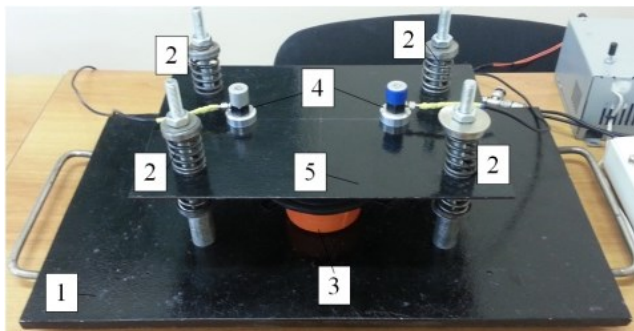


Рис. 2. Фотография вибростенда:

- 1 – массивное основание; 2 – пружина с направляющим стержнем;
- 3 – электроакустический излучатель; 4 – пьезоэлектрические датчики;
- 5 – подвижная пластина

Для работы установки калибровки пьезоэлектрических датчиков в среде программирования LabVIEW разработана прикладная программа «Калибровка». Её структурная схема представлена на рисунке 3.



Рис. 3. Структурная схема программы

Генератор колебаний создаёт сигналы требуемой частоты и амплитуды, которые направляются на электроакустический излучатель, установленный под подвижной пластиной вибростенда. Под действием электроакустического излучателя подвижная пластина начинает вибрировать с частотой колебаний излучателя. На подвижной пластине на одинаковом расстоянии от центра устанавливаются пьезоэлектрические

датчики. При этом ось чувствительности пьезодатчиков должна совпадать с направлением колебаний, создаваемых электроакустическим излучателем. С помощью контролируемого воздействия, амплитуда и частота которого лежат в пределах соответствующих диапазонов датчиков, датчики генерируют электрический сигнал, пропорциональный величине создаваемых колебаний. Выходные сигналы преобразуются в аналогово-цифровом преобразователе для дальнейшей регистрации и анализа данных. Анализ характеристик датчиков производится в подпрограмме «Осциллограф».

При воздействии на датчики одинаковых колебаний амплитуда выходных колебаний должна быть одинакова. Для этого сигналы датчиков можно скорректировать с помощью встроенного усилителя. Необходимо учесть, что величина амплитуды выходных колебаний калибруемого датчика должна совпасть с величиной амплитуды контрольного датчика.

**Вывод.** Результаты, полученные с помощью установки для калибровки пьезоэлектрических датчиков, показали возможность калибровки пьезодатчиков в диапазоне частот выше 100 Гц. При калибровке датчиков менее 100 Гц необходимо учитывать искажения, связанные с собственными колебаниями вибростенда.

#### **Список литературы**

1. Установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Е. Е. Костылева, А. Р. Загреддинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 7-8. – С. 79-86.
2. Гапоненко, С. О. Установка для калибровки прибора низкочастотного виброакустического контроля / С. О. Гапоненко // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – «ИМТОМ-2016». – Казань, 2016. – С. 288-292.

УДК 530.1

**Шарафутдинова Альфия Масхутовна,**  
направление Физика наносистем (магистратура)  
*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
имени М. В. Ломоносова», г. Москва*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГУБЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА**

К настоящему времени достигнут значительный прогресс в лечении поврежденных органов и тканей, однако трансплантация по-прежнему

широко применяется для лечения пациентов. Возможности аутотрансплантации ограничены, а трансплантация тканей и органов от другого донора проблематична из-за возможной реакции иммунной системы пациента на имплантат и серьезного недостатка донорских органов (Baldino, Cardea, De Marco, & Reverchon, 2014).

Тканевая инженерия открывает новые возможности в лечении пациентов. Главная задача тканевой инженерии – выделение определенного вида клеток из организма пациента, культивация их на искусственно созданном каркасе-матриксе в благоприятных для клеток условиях, трансплантация полученной ткани пациенту (Langer & Vacanti, 1993).

В нативной ткани клетки содержатся в трехмерной структуре – межклеточном матриксе, выполняющем ряд важнейших функций:

- механическую поддержку;
- стимулирование пролиферации;
- рост, дифференциацию клеток;
- пропускание кислорода и питательных веществ в клетки.

Для того чтобы имитировать межклеточный матрикс, используются различные материалы (QaziTH, 2015). В нашей работе мы остановили выбор на трехмерном высокопористом губчатом материале. Необходимо, чтобы пористый материал обладал определенными физико-механическими характеристиками, чтобы сохранять целостность ткани под прилагаемыми к ней нагрузками. Более того, полимер, из которого изготавливается материал, должен быть биосовместимым (Baldino, Cardea, De Marco, & Reverchon, 2014).

Мы выбрали биоразлагаемый полимер – хитозан. Он удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к используемому в тканевой инженерии полимеру: он биосовместим и биоразлагаем, стимулирует клеточную адгезию (DiMartino, 2005) и пролиферацию (Sundararajan V. Madihally, 1999), имеет заметную антибактериальную активность (DiMartino, 2005).

Высокопористый губчатый материал можно получить из хитозана методом сублимационной сушки замороженного раствора. (DiMartino, 2005) В процессе заморозки раствора формируются кристаллы льда, а молекулы хитозана вытесняются в межфазное пространство (Ulrike G. K. Wegst, 2010). Так в нашей работе были получены образцы материала с изотропными и анизотропными (направленными) порами.

**Целью данной работы** является исследование влияния молекулярных характеристик полимера на физико-механические свойства высокопористого губчатого материала на основе хитозана.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

- 1) отработать методики получения пористых материалов различной морфологии на основе хитозана;
- 2) исследовать морфологию полученных образцов и провести физико-механические испытания на сжатие;
- 3) оценить влияние молекулярных характеристик полимера и пористости образцов на их физико-механические свойства.

**Методика исследования и обсуждение результатов.** Для выполнения поставленных задач мы приготовили растворы хитозана с двумя различными молекулярными массами: хитозан 430-40 с молекулярной массой 600 кДа и хитозан 430-00 с молекулярной массой 80 кДа. Порошок хитозана растворяли в водном растворе 2 % уксусной кислоты в течение по крайней мере 48 часов с использованием магнитной мешалки.

В данной работе исследовались растворы с концентрациями хитозана 0,5 %, 0,7 % и 1 %. Далее растворы фильтровали с помощью фильтра Шотта, чтобы удалить крупные нерастворившиеся частицы, которые стали бы центрами кристаллизации при заморозке и нарушили однородную структуру образцов.

Отфильтрованные растворы заливались в цилиндрические емкости, полностью изготовленные из политетрафторэтилена, а также в емкости со стенками из политетрафторэтилена и с латунным дном. Затем емкости помещались на торец медного цилиндра, погруженного в жидкий азот, и растворы замораживались в течение 5-15 минут. Замороженные образцы помещались на хранение в морозильную камеру до последующей сублимационной сушки.

Замороженные образцы на 24 часа помещались в лиофильную сушилку. С использованием различных емкостей мы получили образцы с различной морфологией: с анизотропными (направленными) и изотропными (ненаправленными) порами.

Исследования морфологии полученных образцов проводились на оптическом микроскопе. Рассчитанные в результате исследования на микроскопе средние значения размеров пор представлены в таблице 1. По результатам можно сделать вывод, что уменьшение молекулярной массы полимера приводит к уменьшению размера пор у образцов с изотропными порами.

Таблица 1

**Размеры пор, рассчитанные при исследовании на оптическом микроскопе**

Растворы	Изотропные поры		Анизотропные поры	
	430-40	430-00	430-40	430-00
0,5 % хитозан	(107±18) мкм	(70±17) мкм	(34±6) мкм	(31±7) мкм
0,7 % хитозан	(93±19) мкм	(84±17) мкм	(30±5) мкм	(48±8) мкм

Исследование физико-механических свойств образцов производилось на испытательной машине Instron 9361. По данным испытания образцов на сжатие строились зависимости напряжения при сжатии от относительной деформации. По углу наклона прямолинейного участка кривой определялись модули Юнга различных образцов. Результаты исследования приведены в таблице.

Таблица 2

**Физико-механические показатели (модуль Юнга)**

Растворы	Изотропные поры		Анизотропные поры	
	430-40	430-00	430-40	430-00
0,5 % хитозан	(2,5±0,4)кПа	(1,23±0,15) кПа	(3,1±0,3) кПа	(2,67±0,04) кПа
0,7 % хитозан	(6,57±0,20) кПа	(4,56±0,04) кПа	(7,1±0,3) кПа	(4,80±0,10) кПа
1 % хитозан	(19±4) кПа	(5,8±0,4) кПа	(24±3) кПа	(6,9±0,7) кПа

Несмотря на крайне низкое содержание хитозана, получен достаточно крепкий самонесущий материал. Модули Юнга полученных образцов близки к таковым у нативных тканей. Это необходимо, чтобы после трансплантации не происходило контактного травмирования тканей.

#### **Выводы.**

В ходе данного исследования отработана методика получения высокопористых губчатых материалов различной морфологии на основе хитозана.

В результате морфологических исследований показано, что увеличение молекулярной массы исходного полимера приводит к росту диаметра пор.

На основании физико-механических испытаний можно заключить, что полученные образцы обладают модулями Юнга, сравнимыми с модулями тканей.

Также следует отметить, что анизотропия пор приводит к увеличению модуля Юнга.

Наконец, влияние молекулярной массы на прочностные характеристики более выражено при увеличении концентрации полимера в исходном растворе.

#### **Список литературы**

1. Chitosan scaffolds formation by a supercritical freeze extraction process / L. Baldino, S. Cardea, L. De Marco, E. Reverchon // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2014. – Vol. 90. – P. 27-34.
2. Di Martino, A. Chitosan: A versatile biopolymer for orthopaedic tissue engineering / A. Di Martino, M. Sittinger, M.V. Risbud // *Biomaterials*. – 2005. – Vol. 26, No. 30. – С. 5983-5990.
3. Langer, R. Tissue Engineering / R. Langer, J. P. Vacanti // *Science*. – 1993. – Vol. 260, No. 5110. – P. 920-926.

4. Biomaterials based strategies for skeletal muscle tissue engineering: Existing technologies and future trends / T. H. Qazi, D. J. Mooney, M. Pumberger, S. Geissler, G. N. Duda // *Biomaterials*. – 2015. – Vol. 53. – P. 502-521.

5. Madihally, S. V. Porous chitosan scaffolds for tissue engineering / S. V. Madihally, H. W. T. Matthew // *Biomaterials*. – 1999. – Vol. 20, No. 12. – P. 1133-1142.

6. Biomaterials by freeze casting / U. G. K. Wegst, M. Schecter, A. E. Donius, P. M. Hunger // *Philosophical Transactions of the Royal Society* – 2010. – Vol. 368, No. 1917. – С. 2099-2121.

УДК 665.612.2

**Шугин Антон Александрович.**

направление Теплотехника и теплоэнергетика (бакалавриат), гр. ТТ-41  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола*

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ НА ПОПУТНОМ ГАЗЕ И НЕФТИ**

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это природный углеводородный газ, растворенный в нефти или находящийся в «шапках» нефтяных и газоконденсатных месторождений.

В одной тонне нефти количество ПНГ может колебаться от одного-двух до нескольких тысяч кубометров.

В отличие от природного газа попутный нефтяной газ содержит в своем составе кроме метана и этана большую долю пропанов, бутанов и паров более тяжелых углеводородов. Во многих попутных газах, в зависимости от месторождения, содержатся также неуглеводородные компоненты: сероводород и меркаптаны, углекислый газ, азот, гелий и др.

При вскрытии нефтяных пластов обычно сначала начинает фонтанировать газ нефтяных «шапок». Впоследствии основную часть добываемого попутного газа составляют газы, растворенные в нефти. Газ газовых «шапок», или свободный газ, является более «легким» по составу (с меньшим содержанием тяжелых углеводородных газов) в отличие от растворенного в нефти газа.

Таким образом, начальные стадии освоения месторождений обычно характеризуются большими ежегодными объемами добычи попутного нефтяного газа с большей долей метана в своем составе. При длительной эксплуатации месторождения дебет попутного нефтяного газа сокращается, и большая доля газа приходится на тяжелые составляющие.

**Актуальной проблемой** является повышение эффективности сжигания попутного нефтяного газа. Уменьшение выбросов вредных ве-

ществ весьма актуально в топливопотребляющих системах, где сжигание больших количеств ПНГ происходит с недостаточной полнотой и относительно низким КПД.

Для решения проблемы оптимизации сжигания ПНГ необходимо одновременное решение взаимоисключающих задач: повышение экономичности сжигания, уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу и сокращение капитальных затрат на их осуществление. Одновременное решение этих задач принято называть энергоэкологической оптимизацией сжигания топлива.

Выделяются несколько направлений такой оптимизации:

- автоматизация работы котлоагрегата;
- технологическое направление: режимные мероприятия, различные варианты ступенчатого сжигания ПНГ, рециркуляция дымовых газов и другие мероприятия;
- конструктивное направление: совершенствование узлов и элементов котлоагрегата, топочных и горелочных устройств;
- очистка продуктов сгорания, невыгодная с точки зрения энергетических затрат, но необходимая в некоторых случаях;
- утилизация теплоты уходящих газов, снижение тепловых потерь.

В первую очередь, заинтересованность проявляется в усовершенствовании процесса горения попутного нефтяного газа в котле. Поэтому перспективным направлением оптимизации является технологическое, ориентированное на причины и механизмы неэкономичного сжигания попутного нефтяного газа и образования вредных веществ.

Ряд технологий позволяет добиться значительного эффекта при весьма ограниченных капиталовложениях с помощью автоматизации управления сжиганием ПНГ.

**Целью работы** является оптимизация процесса сжигания попутного нефтяного газа в котле, основанная на минимизации удельного расхода топлива.

В настоящее время можно выделить пять основных *методов утилизации нефтяного газа*:

- сжигание с получением тепловой энергии (печи и путевые подогреватели);
- сжигание с получением электрической энергии (электростанции);
- переработка на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ), в том числе на ГПЗ малой производительности;
- закачка в пласт;
- переработка с получением химических продуктов.

Каждый метод имеет свою область эффективного применения. Его выбор во многом определяется условиями эксплуатации и расположением конкретного объекта.

Рассмотрим оценку экономической эффективности системы автоматического регулирования процессом горения ПНГ с непостоянным составом, внедренной на паровом котле ДЕ-10/14 № 2 котельной.

Испытания системы на котлоагрегате ДЕ-10/14 в котельной выполнены на четырех режимах работы с ручным (по режимной карте) и автоматическим регулированием соотношения газ – воздух. Результаты испытаний основываются на показаниях поверенных приборов (счетчика газа СПГ, счетчика тепла СПТ). Автоматическое регулирование производилось с использованием контроллера «Овен».

Установлено, что эффективность системы автоматического регулирования процессом горения растет с увеличением мощности котлоагрегата (в процессе испытаний мощность изменялась от 1 до 2,4 Гкал/ч). Удельный расход газа во время проведения сравнительных испытаний в режиме, предписанном режимной картой, и режиме, отлаженном по оптимизирующей программе, при использовании ручного регулирования сократился: в режиме 1 (1 Гкал) – на 4 %, режиме 2 (1,7 Гкал) – на 16,9 %, режиме 3 (2,2 Гкал) – на 41,9 %, режиме 4 (2,4 Гкал) – на 11,9 %. Во время проведения испытаний в автоматическом режиме удельный расход газа сократился в режиме 1 (1,1 Гкал) на 32,5 %, режиме 2 (1,4 Гкал) – на 16,9 %.

Следовательно, удельный расход газа при работе по оптимизирующей программе составил от 65 до 111 м<sup>3</sup>/ч, т.е. в среднем 88 м<sup>3</sup> газа в час. При работе в штатном режиме по режимной карте удельный расход газа составил от 104,8 до 121,4 м<sup>3</sup>/ч, т.е. в среднем 113,1 м<sup>3</sup> газа в час. Итого, экономия газа от применения метода оптимизации горения «Примус» составила от 11,9 % до 41,9 %, или в среднем 26,9 %.

При номинальной мощности 80 % котел вырабатывает 5,3 Гкал тепла в час. В этом случае расход газа при работе котла согласно режимной карте в среднем составит

$$\begin{aligned} 113,1 \text{ м}^3/\text{ч} * 5,3 \text{ Гкал} &= 599,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 14386 \text{ м}^3/\text{сутки} = \\ &= 431568 \text{ м}^3/\text{месяц} = 4315680 \text{ м}^3/\text{год}, \end{aligned}$$

т.е. 10 месяцев работы котла с учетом плановых ремонтных работ.

При установке оптимизирующей программы расход газа в среднем составит:

$$\begin{aligned} 88 \text{ м}^3/\text{ч} * 5,3 \text{ Гкал} &= 466 \text{ м}^3/\text{ч} = 11194 \text{ м}^3/\text{сутки} = \\ &= 335808 \text{ м}^3/\text{месяц} = 3358080 \text{ м}^3/\text{год}, \end{aligned}$$

т.е. 10 месяцев работы котла с учетом плановых ремонтных работ.

Итак, в результате оптимизации процесса горения годовая экономия попутного нефтяного газа составит 22 %. Объем сэкономленного газа за год может достичь 957600 м<sup>3</sup> на сумму 1723680 руб. (из расчета стоимости попутного нефтяного газа 1,8 руб. за 1 м<sup>3</sup>).

**Вывод.** Срок окупаемости при условии работы котла с номинальной нагрузкой составит менее одного года.



### Список литературы

1. Воликов, А. Н. Энергоэкологическая эффективность сжигания газового и жидкого топлива в котлах малой и средней мощности / А. Н. Воликов, О. Н. Новиков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – С. 102-110.
2. Воликов, А. Н. Повышение эффективности сжигания топлива в котлоагрегатах / А. Н. Воликов, О. Н. Новиков, А. Н. Окатьев // Энергонадзор-информ. – 2010. – № 1. – С. 54-57.
3. Бараз, В. И. Добыча нефтяного газа / В. И. Бараз. – М.: Недра, 1983. – 252 с.
4. Технология переработки нефти. Ч. 1: Первичная переработка нефти / под ред. Глаголевой О. Ф., Капустина В. М. – М.: Химия, Колосс, 2006. – 400 с.
5. Рынок переработки попутного нефтяного газа в России (Статья подготовлена ResearchTechartна основании исследования рынка утилизации попутного нефтяного газа) // Сфера Нефтегаз. – 2010. – № 2. – С. 110-111.
6. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» / П. А. Кирюшин, А. Ю. Книжников, К. В. Кочи [и др.]: аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. – 88 с.
7. Книжников, А. Ю. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России / А. Ю. Книжников, Н. Н. Пусенкова // Ежегодный обзор проблемы в рамках проекта «Экология и Энергетика. Международный контекст» Вып. 1. – М.: WWF России, ИМЭМО РАН, 2009. – 28 с.

УДК 622.691.4.053

**Щеглов Андрей Сергеевич,**

направление Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(магистратура), гр. ЭТМм-22

Научные руководители **Каменских Александр Дмитриевич,**  
ст. преподаватель кафедры эксплуатации машин и оборудования;

**Ласточкин Денис Михайлович,**  
доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

### **МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ УТЕЧЕК ПРИРОДНОГО ГАЗА НА СЕТЕВЫХ ГАЗОПРОВОДАХ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА**

**Цель работы** – установление круга проблем при локализации утечек природного газа в условиях ограниченного пространства и пути их решения.

Газ, используемый в быту, в основном состоит из метана, доля которого составляет 70-98 %. Также в состав газа входят этан, бутан, пропан,

сероводород, углекислый газ и др. Основные достоинства в том, что газ – дешевый вид топлива, сгорает без остатка, имеет высокую температуру горения, большую теплотворную способность [1].

Существенными недостатками являются токсичность и взрывоопасность. Токсичность метана сильно преувеличена, при его вдыхании практически невозможно отравиться. Люди, надышавшиеся газом, погибают не от отравления, а от удушья, в связи с тем, что углекислый газ вытесняет из окружающего пространства кислород.

Взрывоопасные ситуации возникают в случаях, когда метана в помещении становится более 15 % от общего объема воздушной массы. Определить процентное содержание метана в воздухе невозможно, для этого требуется специальное измерительное оборудование.

Утечку газа можно определить несколькими способами. Один из способов – это визуальный. Утечки газа определяются по запаху, для этого в газ добавляют сильно пахнущее вещество – одорант [2].

Второй способ определения утечки – приборный, его суть заключается в том, что для его проведения перекрываются все доступные краны, выпускается газ из стояка через сгон, далее присоединяется манометр к газопроводу и закачивается воздух при помощи насоса на рабочее давление 0,003 МПа [3]. Через 5 минут происходит повторный замер давления в газопроводе. Если в результате повторного замера получилось давление ниже рабочего, это говорит об утечке.

Первопричины участвовавших в последнее время случаев взрывов и удуший от бытового газа лежат в различных плоскостях: от системных ошибок, заложенных в несогласованности и недостаточности норм российского законодательства, до так называемого человеческого фактора.

По данным статистики ООО «Газпром межрегионгаз», за 2017 год в России при использовании газа в быту пострадали 1006 человек, из них 286 погибли.

Главная причина невозможности быстро ликвидировать утечки природного газа – отсутствие своевременного доступа в помещение для проведения ремонтных или аварийных работ. В связи с этим в случае возникновения утечки газа в жилом помещении многоквартирного дома, доступ в которое не был вовремя предоставлен, без газа на длительный период остается весь дом до устранения причин возникновения утечки.

При проведении технического осмотра внутритрубного пространства газопровода могут применяться технические эндоскопы [4]. Они предназначены для осмотра внутреннего или труднодоступного пространства технических объектов: резервуаров, трубопроводов, машин, механизмов, двигателей и других элементов, которые не могут быть обследованы снаружи.

Для перекрытия газопровода на время проведения аварийных и ремонтных работ применяют пневматические заглушки. Главным преимуществом пневматических заглушек является их универсальность, которая состоит в том, что изделия принимают любую форму трубопроводов и могут использоваться в трубопроводах разных диаметров.

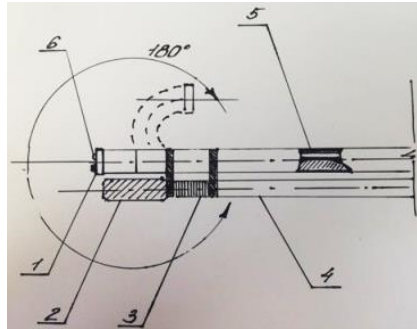
При модернизации эндоскопа для установки пневматических заглушек можно получить устройство для локализации утечек природного газа без доступа в помещения (см. рисунок).

Предлагаемое устройство состоит из гибкого эндоскопа, внутри которого располагается оптоволоконно, необходимое для передачи изображения. К концу эндоскопа прикреплена видеокамера, оснащенная подсветкой. Эндоскоп имеет дистальный конец с углом изгиба в одной плоскости до  $180^\circ$ , который позволит преодолевать изгибы и повороты газопровода.

Под основной частью эндоскопа располагается выдвижной механизм, к которому присоединяется пневматическая заглушка. Пневматическая заглушка выполняется из газонепроницаемой резины и оснащена с двух сторон магнитными наконечниками для подачи давления воздуха внутрь заглушки.

Наконечники на пневматической заглушке с двух сторон необходимы для максимального доступа как с одной, так и с другой стороны. Материал наконечника соединения исключает искрообразование, что позволяет использовать заглушки в трубопроводах с газом.

К наконечнику присоединяется шланг для накачивания воздуха. Подача воздуха в заглушку осуществляется при помощи пневматического насоса. Во время расширения происходит постепенное плотное прилегание заглушки к внутренней поверхности трубопровода для надежной герметизации. Диаметр механизма составляет не более 10 мм, при этом длина эндоскопа и воздушного шланга порядка 30 метров. Также эндоскоп имеет канал для гибкого инструмента при необходимости осуществления манипуляций, например захвата предметов. Измене-



**Схематическое устройство эндоскопа с заглушкой:**

- 1 – видеокамера, 2 – пневматическая заглушка, 3 – выдвижной механизм,
- 4 – воздушный шланг, 5 – канал для гибкого инструмента, 6 – подсветка

ние направления эндоскопа внутри трубопровода осуществляется при помощи пульта с ЖК-экраном. Движение по трубопроводу происходит путем проталкивания.

Устройство помещается в систему газопровода через доступный сгон на вводе. Путем проталкивания и использования дистального наконечника для поворота внутри трубы эндоскоп с заглушкой доставляется до нужного отвода. Далее происходит установка заглушки посредством подачи воздуха. После установки заглушки эндоскоп извлекается из газопровода, проверяется давление в газопроводе. В случае нормального давления осуществляется подача газа.

**Вывод.** Устройство, разработанное на основе эндоскопа, предназначено для использования специализированными организациями. С его помощью можно производить приостановку подачи газа в труднодоступных местах, что позволит сократить время локализации утечки и возобновления подачи газа.

#### **Список литературы**

1. СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002.
2. Правила пользования газом в быту (утв. приказом ВО «Росстройгазификация» от 26.04.1990 № 86-П).
3. СНиП 2.04.08-87. Газоснабжение.
4. Хацевич, Т. Н. Эндоскопы «СГА» / Т. Н. Хацевич, И. О. Михайлов. – Новосибирск, 2002. – 192 с.

УДК 612.4

**Юсупов Ильдар Фенисович,**

направление Теплоэнергетика и теплотехника (бакалавриат), гр. ПТ-1-15

Научный руководитель **Кондратьев Александр Евгеньевич,**

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
и систем теплоснабжения

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань*

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛУННОЙ СТАНЦИИ**

**Цель работы** – поиск решения принципиальной проблемы функционирования лунной станции – теплового режима внутреннего объема обитаемых модулей.

Планы сооружения лунных станций существовали еще с конца 1960-х годов в программах США и СССР. В настоящее время у основных космических держав также имеются планы по дальнейшему освоению Луны, включающие в себя развертывание станций непрерывного действия.

Помимо научных перспектив освоение и последующая колонизация Луны преследуют и практические цели по добыче полезных ископаемых из недр спутника Земли. Особенно ценной считается добыча изотопа Гелий-3 путём переработки лунного грунта (реголита).

**Актуальность проблемы** обусловлена тем, что без создания постоянной лунной станции трудноосуществимы как глубокие научные исследования, так и добыча полезных ископаемых на спутнике Земли. Однако на пути к созданию станции необходимо решить ряд серьёзных задач: обеспечение станции водой и продуктами питания, защита от внешних воздействий (рентгеновские излучение, солнечная радиация, падение метеоритов, лунная пыль), энергетическое обеспечение станции и многое другое.

Особое место занимает проблема обеспечения теплового режима обитаемых модулей станции. Она включает в себя несколько задач. Для их решения необходимо учитывать внешние источники тепла, в особенности Солнце, и внутренние: оборудование, тепловые выделения от человека.

В качестве внешнего источника тепла также предлагается использовать двигатель Стирлинга (ДС). ДС очень удобен для применения в качестве энергетической установки для выработки электроэнергии в условиях поверхности Луны, так как температура поверхности в подсолнечной точке может достигать 120 °С, а комфортная температура внутреннего воздуха в модуле равна 20-25 °С. Тем самым обеспечивается достаточный перепад температур для работы двигателя.

Для обогрева жилых модулей может быть использована тепловая энергия, полученная двигателем от Солнца, которая при этом должна быть отведена от него для завершения цикла. Таким образом станция служит для ДС охладителем.

**Выводы.** Дополнительный источник тепловой энергии имеет большую ценность для функционирования лунной станции. Таким образом, одна энергетическая установка может быть применена для решения сразу двух важнейших проблем функционирования лунной станции. Это особенно важно, учитывая сложность доставки оборудования на Луну и обеспечения его работы.

### Список литературы

1. Малоземов, В. В. Тепловой режим космических аппаратов / В. В. Малоземов. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
2. Юсупов, И. Ф. Анализ энергетической возможности двигателя Стирлинга в ближнем космосе / И. Ф. Юсупов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. – Ч. 2. – 220 с.
3. Хафизов, Р. Г. Применение двигателя Стирлинга в ближнем космосе для создания искусственной гравитации. Механизмы аккумуляции энергии и отвода тепловой энергии / Р. Г. Хафизов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – Ч. 2. – 192 с.

УДК 630\*3

**Богданов Евгений Николаевич,**

кафедра транспортно-технологических машин (аспирантура)

Научный руководитель **Полянин Игорь Александрович,**

д-р техн. наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин  
*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ ТИПА ЛП-19**

При ведении сплошных рубок леса валочно-пакетирующими машинами достигается высокая производительность. В то же время ранее проведенными исследованиями установлено, что работа валочно-пакетирующих машин сопровождается частыми воздействиями оператора на комбинированные органы управления технологическим оборудованием (джойстики управления и включение гидродвигателей технологического оборудования).

В результате проведенного анализа опубликованных работ установлено, что операторы валочно-пакетирующих машин (ВПМ) затрачивают большую часть времени в технологическом цикле на выполнение определенных, повторяющихся операций, таких как наводка захватно-

срезающего устройства (ЗСУ) и подтаскивание дерева к машине. Гидравлические системы и конструкции манипуляторов у серийно выпускаемых лесосечных машин не обеспечивают синхронную работу гидродвигателей манипуляторов, необходимую для снижения времени технологической операции и зависимости от квалификации оператора.

В настоящее время развитие ВМП с целью увеличения производительности идет в направлении увеличения мощности силовых установок, вылета манипулятора, введения накопителя в ЗСУ, расширения зоны применения за счет введения выравнителя платформы и т.д. При этом снижение зависимости производительности машины от квалификации оператора не наблюдается.

Исходя из вышесказанного, в процессе разработки новых и модернизации уже серийно выпускаемых ВМП возникает проблема автоматизации некоторых повторяющихся технологических операций, что влечет за собой необходимость обеспечения движения рабочего органа ВМП, близкого к плоскопараллельному.

Для решения задач реализации плоскопараллельного движения рабочего органа ВМП необходимо разработать математическую модель гидропривода шарнирно-сочлененного манипулятора валочно-пакетирующей машины типа ЛП-19 с заданным плоскопараллельным движением захватно-срезающего устройства при наводке на дерево.

На рисунке 1 представлена исходная расчетная схема с нанесенной расчетной сеткой и исходными осями.

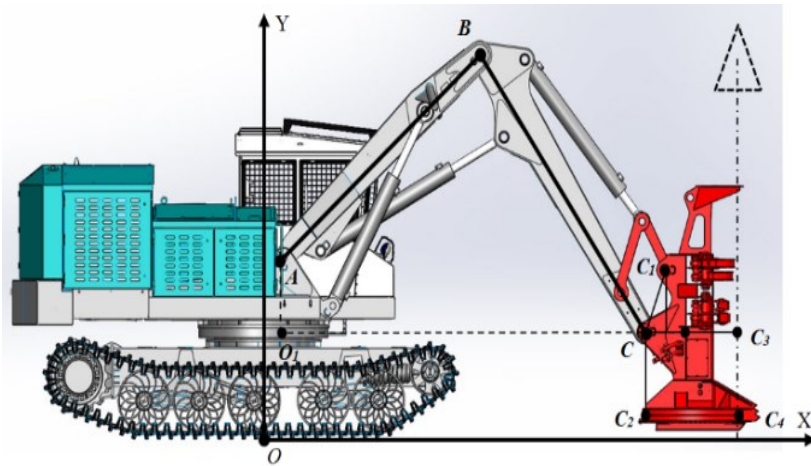


Рис. 1. ВМП ЛП-19 исходная расчетная схема

Преобразуем исходную расчетную схему в эквивалентную (рисунок 2), которая позволит разработать математическую модель плоскопараллельного движения.

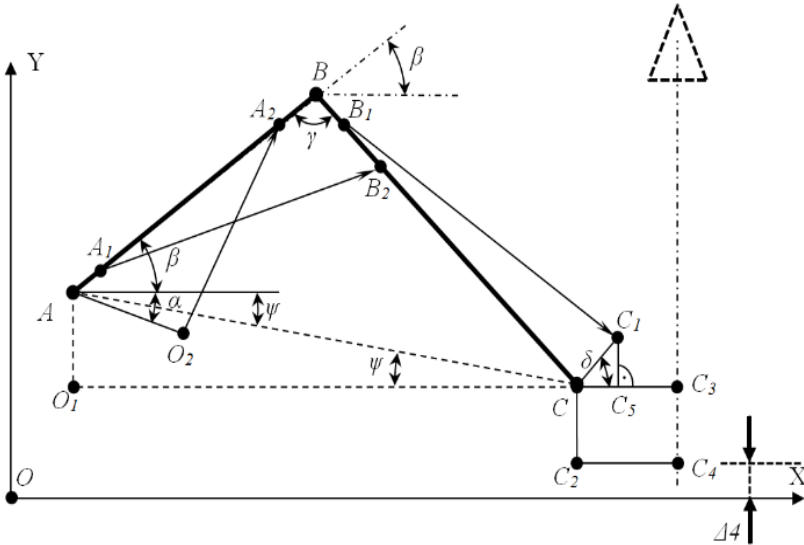


Рис. 2. Эквивалентная расчётная схема ВПМ ЛП-19

Плоскопараллельное движение ЗСУ характеризуется постоянством положения угла наклона ЗСУ ( $\angle \delta = \text{const}$ ,  $\triangle CC_1C_5$  и  $\square CC_2C_4C_3$ ). Таким образом, зная траекторию движения т. С и ее величину, в процессе изменения вылета манипулятора с минимального значения до максимального от оси поворота платформы, необходимо определить изменения длин гидроцилиндров стрелы ( $\Delta 1$ ), рукояти ( $\Delta 2$ ) и ЗСУ ( $\Delta 3$ ) (рисунок 3).

То есть необходимо решить обратную задачу по известной величине вылета манипулятора и ее параметрам. Эти величины взаимосвязаны с расходами жидкости в гидроцилиндрах и, как следствие, позволяют определить характер и величины «перетекания» жидкости из одного гидроцилиндра в другой (рисунок 3).

В расчетной схеме (рисунок 2) плоскопараллельного движения ЗСУ известными величинами являются:

- 1) длины звеньев:
  - $AB$  – стрела;



- $BC$  – рукоять;
- $AB$  – стрела;
- $\triangle CC_1C_5$  и  $\square CC_2C_4C_3$  и др. геометрические параметры звеньев по рисунку 2;

- 2) высота пня спиленного дерева  $\Delta 4$ ;
- 3) начальные величины углов  $\beta, \gamma$ ;
- 4) угол положения гидроцилиндра стрелы  $\alpha$ .

Переменными (искомыми) величинами будут являться:

- 1) углы положения стрелы  $\beta$  и рукояти  $\gamma$ ;
- 2) длины (вылет) гидроцилиндров стрелы ( $\Delta 1$ ), рукояти ( $\Delta 2$ ) и ЗСУ ( $\Delta 3$ ).

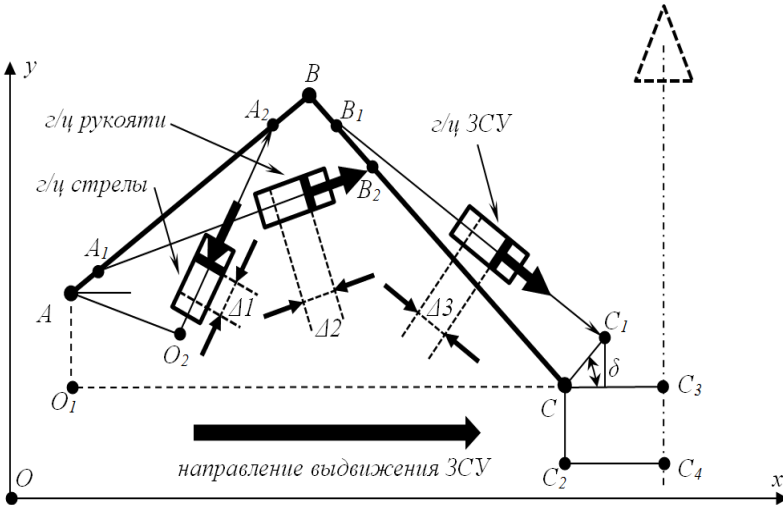


Рис. 3. Схема работы гидроцилиндров при выдвигании ЗСУ

**Выводы.** В результате проведения математического моделирования можно определить зависимости изменения длин гидродвигателей во время плоскопараллельного движения ЗСУ, которое позволит определить ход гидродвигателей при плоскопараллельном выдвигании ЗСУ машины, а также необходимые объемы гидравлической жидкости в гидродвигателях для осуществления данной операции.

### **Список литературы**

1. Математическая модель гидропривода взаимного поворота звеньев исполнительного механизма / И. Н. Багаутдинов, Е. А. Журавлев, Е. Н. Богданов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-1. – С. 13-17.

2. Исследование псевдотелескопического движения манипулятора лесозаготовительной машины / Е. Н. Богданов, И. Н. Багаутдинов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы IX международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам: в 3 ч. Ч. 2. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – С. 312-313.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
<b>Алексеев Н. С.</b> Информационно-вычислительная система скорости и направления ветра .....	4
<b>Алимкулова С. Р.</b> Повышение энергоэффективности систем теплоснабжения путем внедрения индивидуальных тепловых пунктов .....	6
<b>Ананич Р. О.</b> Исследование перспективы хранения отходов ядерного топлива на площадке АЭС .....	8
<b>Андреянов Р. Ю.</b> Является ли АТП инструментом энергосбережения? .....	11
<b>Андреянов Д. Ю.</b> Координаты центра тяжести поворотного механизма снегоходной транспортной платформы .....	13
<b>Апъялиев М. Р., Лебедев Г. В., Хорошавина Т. А.</b> Использование турбодетандеров для выработки энергии сжатого газа на газораспределительной станции .....	17
<b>Афанасьева Е. В.</b> Подбор чисел зубьев для редуктора привода тазобедренного сустава экзоскелета медицинского назначения .....	19
<b>Ахметзянова Д. Р., Волкова М. Ю., Алгаева Н. С.</b> Обеспечение равновесия реабилитационного экзоскелета медицинского назначения .....	22
<b>Бажина А. А.</b> Аккумулирующая способность зданий для снабжения потребителей тепловой энергией .....	25
<b>Белякова А. И.</b> Применение аддитивных технологий в проектировании и производстве .....	28
<b>Васенева Н. А.</b> Исследования качества гальванических покрытий .....	32
<b>Васенин В. Н.</b> Новые лесопромышленные широкопрофильные шины .....	34
<b>Волкова Е. Г.</b> Сверхпроводящие материалы в электронике .....	37

<b>Голубев П. С.</b> Инвалидная вездеходная коляска с системой обеспечения повышенной проходимости и маневренности .....	39
<b>Горбунов К. Г.</b> Вопросы повышения эффективности системы теплоснабжения .....	41
<b>Граховский А. А.</b> Градиентные материалы и перспективы их применения .....	43
<b>Губарьков Н. С.</b> Основные пути повышения маневренности АЭС .....	45
<b>Губин М. А.</b> Современные способы сварки .....	49
<b>Давлятишина А. Р.</b> Подбор чисел зубьев для волнового редуктора привода коленного сустава экзоскелета медицинского назначения .....	51
<b>Ермолаев Т. В.</b> Анализ технического состояния тепловых сетей города Альметьевска .....	53
<b>Загреддинова А. Р.</b> Повышение энергоэффективности котельной спортивного комплекса .....	56
<b>Зиуров В. Э.</b> Процесс очистки дымовых газов от мелкодисперсных частиц в прямоугольном сепараторе .....	58
<b>Ибадов А. А., Макуева Д. А.</b> Акустико-резонансный метод диагностирования заглубленных трубопроводов .....	60
<b>Ивличева Е. А.</b> Алгоритм работы системы поддержания баланса экзоскелета медицинского назначения .....	64
<b>Казакова А. А.</b> Оптимизация форсировочных режимов энергоблока АЭС .....	67
<b>Кокорина О. И.</b> Системы воздушного охлаждения отработавшего пара на ТЭС .....	71
<b>Коновалов С. Н., Ливанова Т. С.</b> Разработка высокоточного когерентного электропривода на основе планетарных редукторов .....	74
<b>Кудрявцев А. А.</b> Сварка разнородных металлов .....	76

<b>Куликов В. В.</b> Расчет инерционных нагрузок в кинематических парах экзоскелета при ресурсных испытаниях .....	78
<b>Курицына К. С.</b> Проблемы и перспективы построения жилых и общественных баз на Луне .....	82
<b>Курочкина К. Ю.</b> Расчет экономической эффективности прокладки теплопровода .....	84
<b>Лантева О. С.</b> Определение плотности тепловых потоков через теплоизоляционные материалы .....	88
<b>Белавин А.А., Ливанова Т. С., Коновалов С. Н.</b> Контрольно-измерительная аппаратура для определения момента трогания редуктора экзоскелета .....	91
<b>Лежнин Д. В., Ливанова Т. С., Коновалов С. Н.</b> Контрольно-измерительная аппаратура для определения механических характеристик электропривода экзоскелета .....	94
<b>Лисютенко С. Д.</b> Преимущества использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве .....	97
<b>Лоскутов М. Ю., Вавилов А. С.</b> Расчетное обоснование энергетически эквивалентных ресурсных испытаний экзоскелета .....	100
<b>Ляхов А. А.</b> Использование электрохимической полировки для деталей из нержавеющей стали .....	104
<b>Мамаева О. Э.</b> Анализ повреждений и параметров технического состояния клиновой задвижки .....	106
<b>Морозов Д. А.</b> Фрезерный трехкоординатный станок с ЧПУ малого размера .....	110
<b>Мукатдаров А. А.</b> Ультразвуковая дефектоскопия металла в теплоэнергетике .....	113
<b>Мурзаева М. А.</b> Модернизация центрального теплового пункта .....	114
<b>Мухтарова А. Р.</b> Экспериментальные методы исследования сверхкритической экстракции однолетников .....	116
<b>Петряков А. В.</b> Защита магистральных трубопроводов от почвенной коррозии .....	120

<b>Петухова Е. В.</b> Конструкции подогревателей низкого давления .....	123
<b>Попков Д. И.</b> Исследование реакций в кинематических парах экзоскелета в зависимости от изменения массы звеньев при ресурсных испытаниях .....	127
<b>Ризванова Л. М., Шайхутдинова Д. А., Хайрутдинова А. Р., Валеев К. В., Сайфутдинов Д. М.</b> Инженерные кадры сегодня .....	130
<b>Романов Г. С.</b> Использование альтернативных источников энергии в современных условиях .....	133
<b>Рыбакова А. П.</b> Холодильные агрегаты на мясокомбинате .....	136
<b>Семенов А. В.</b> Разработка воздушного беспилотного аппаратного комплекса и автоматизация логистики доставки средств первой необходимости .....	138
<b>Султанова Г. Ф.</b> Проектирование системы отопления частного дома с применением инфракрасных излучателей .....	141
<b>Суханова К. В.</b> Анализ эффективности использования тепловых насосов на производственных предприятиях .....	144
<b>Таныгин Д. А.</b> Обеспечение устойчивости экзоскелета с помощью адаптируемого опорного устройства .....	147
<b>Теплов Г. Ю.</b> Разработка прицепа-контейнера, трансформируемого в опору транспортного средства .....	149
<b>Фазуллин Д. Р.</b> Низкозатратная технология очистки попутного нефтяного газа от сероводорода .....	152
<b>Фоминых К. С.</b> Применение метода акустической диагностики тепловых сетей .....	154
<b>Хафизова А. И.</b> Тепломассообмен в струйно-плёночных контактных устройствах ...	157
<b>Храмова Е. В.</b> Эффективность трансформаторов теплоты и их использование в качестве энергосберегающей технологии для ТЭЦ .....	159

<b>Храмцова Л. А., Байдюк Ю. А.</b>	
Современные способы предотвращения возгорания пирофорных отложений в резервуарах .....	161
<b>Чернышова О. И., Солоницын А. А., Лоскутов М. Ю.</b>	
Определение наибольшего момента в коленном шарнире экзоскелета при вставании с опоры .....	163
<b>Шакурова Р. З.</b>	
Установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков вибрации.....	167
<b>Шарафутдинова А. М.</b>	
Исследование физико-механических характеристик губчатых материалов на основе хитозана .....	170
<b>Шугин А. А.</b>	
Особенности работы котельной на попутном газе и нефти .....	174
<b>Щеглов А. С.</b>	
Метод локализации утечек природного газа на сетевых газопроводах в условиях ограниченного пространства .....	177
<b>Юсупов И. Ф.</b>	
Обеспечение теплового режима функционирования лунной станции. ....	180
<b>Богданов Е. Н.</b>	
Моделирование плоскопараллельного движения рабочего органа валочно-пакетирующей машины типа ЛПП-19 .....	182

*Научное издание*

# ИНЖЕНЕРНЫЕ КАДРЫ – БУДУЩЕЕ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Материалы IV Всероссийской  
студенческой конференции

*Йошкар-Ола, 20-23 ноября 2018 г.*

Часть 1

## ИНЖИНИРИНГОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ответственные за выпуск *П. А. Нехорошков, Д. М. Ласточкин*  
Редакторы *Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская*  
Компьютерная верстка *Е. В. Егошина*  
Дизайн обложки *И. В. Малинкина*

Подписано в печать 14.12.2018. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,16.  
Тираж 120 экз. Заказ № 7091.

Поволжский государственный технологический университет  
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в типографии ООО «Вертикаль»  
424030 Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Мира, 21