Министерство образования и науки Российской федерации
Министерство образования и науки Республики Татарстан
Академия наук Республики Татарстан
Российский национальный комитет СИГРЭ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

XIII МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

24–27 апреля 2018 г.

Тезисы докладов

В трех томах

Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова

Том 2

Казань
2018

УДК 371.334
ББК 31.2+31.3+81.2
Т67

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «КНИТУ» А.Н. Николаев;
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «КГЭУ» Э.В. Шамсутдинов

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доц. Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор);
канд. техн. наук, доц. Э.В. Шамсутдинов (зам. гл. редактора);
д-р пед. наук, проф. А.В. Леонтьев; д-р хим. наук, проф. Н.Д. Чичирова; д-р техн. наук, проф. И.В. Ившин; канд. физ.-мат. наук, доц. Ю.Н. Смирнов;
канд. полит. наук, доц. А.Г. Арзамасова

Т67 XIII молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения». В 3 т. Т. 2: тезисы докладов (Казань, 24–27апреля 2018 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 356 с.

ISBN 978-5-89873-508-1 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-510-4

Представлены тезисы докладов, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло- и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 371.334
ББК 31.2+31.3+81.2

ISBN 978-5-89873-508-1 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-510-4

© Казанский государственный энергетический университет, 2018

Секция 1. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТЭС И ЖКХ

УДК 621.311.22

ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ГТЭ6П-П102 ПРИ НАГРУЗКАХ, БЛИЗКИХ К МИНИМАЛЬНЫМ

АБРАМОВ А.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ШЕЛЫГИН Б.Л.

В состав ПГУ-130 входит котёл-утилизатор (КУ) марки П-102 и газовая турбина ГТЭ-6П.

Эксплуатация КУ П-102 предусматривает три возможных варианта работы:

1) утилизация теплоты газов, уходящих из ГТЭ-6П;

2) утилизация теплоты газов после ГТЭ-6П при дополнительном сжигании энергетического топлива;

3) автономный режим работы КУ при сжигании в топочной камере топлива и использовании в качестве окислителя воздуха.

Паропроизводительность КУ прямопропорциональна расходу сжигаемого в КС ГТЭ-6П топлива, а также расходу топлива, дополнительно сжигаемого в топочной камере. Чтобы оценить возможности паропроизводительности энергетической установки, нужно знать её топливные характеристики – зависимости общего расхода топлива от заданной нагрузки по пару при генерируемой электрической мощности ГТЭ-6П $N_э$ [1].

Расчетное исследование проводилось при проектной температуре наружного воздуха $t_н = 15$ °С и значениях мощности ГТЭ-6П $N_э = 4 \div 5$ МВт.

Топливом, сжигаемым в КС ГТЭ-6П, является природный газ. Расход газа зависит от теплоты сгорания $Q_н^с$ и КПД ГТУ (брутто) $\eta_{ГТУ}$ и определяется по формуле, нм^3/ч:

$$B = \frac{N_э}{\eta_{ГТУ} Q_н^с}.$$

При неизменном составе топлива для проектных условий КПД ГТЭ-6П (брутто) выражается как

$$\eta_{ГТУ} = 0,227 + 0,015 \cdot (N_э - 4)^{0,9}.$$

Расход природного газа, сжигаемого в КС ГТЭ-6П, при теплоте его сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 8539$ ккал/нм^3, определяется формулой, нм^3/ч:

$$B_{\text{Т}} = 3600 \cdot 0,028 \cdot N_{\text{э}} / \eta .$$

Наибольший интерес вызывает зависимость полученных значений $B_{\text{Т}}$ не от $N_{\text{э}}$, а от расхода выработанного перегретого пара $D_{\text{утил}}$.. Это обусловлено тем, что определяющим фактором для создания топливной характеристики энергоустановки ГТЭ6П-П102 является паропроизводительность КУ [2].

В связи с этим была проведена серия тепловых расчетов КУ П-102 при заданных значениях $B_{\text{Т}}$. Этим расчётам соответствовало минимальное значение коэффициента избытка воздуха за КС $\alpha''_{\text{КС}} = 3,9$.

В ходе исследования энергоустановки конкретному значению $B_{\text{Т}}$ подбиралось соответствующее значение $D_{\text{утил}}$. При этом температура пара, поступающего в радиационный пароперегреватель КУ, принималась постоянной $t_{\text{нас}} = 178\,^{\circ}\text{C}$.

При увеличении электрической нагрузки $N_{\text{э}}$ ГТЭ-6П в пределах $N_{\text{э}} = 4 \div 5$ МВт расход сжигаемого в КС топлива возрастает от 1664 до 2079 м^3/ч. При этом наблюдается рост значений паропроизводительности КУ в пределах $D_{\text{утил}} = 12 \div 15$ т/ч.

Топливная характеристика для утилизационного режима представляется выражением, нм^3/ч:

$$B_T^{\text{утил}} = 1663,16 + 132,37 \cdot \left(D_{\text{утил}} - 11,83 \right)^{0,97} .$$

В случае сжигания дополнительного топлива топливная характеристика имеет вид:

$$B_{\text{доп}} = 1663,16 - 72,3 \cdot (N_{\text{э}} - 4) + (11,78 - 3,078 \cdot (N_{\text{э}} - 4)) \cdot (D - 15,02)^{0,98}.$$

При увеличения $N_{\text{э}}$ в пределах 4–5 МВт с повышением $D_{\text{пе}}$ от $D_{\text{утил}} = 12 \div 15$ т/ч до $D_{\text{ном}} = 50$ т/ч$D_{\text{ном}}$ = 50 т/ч расход дополнительно сжигаемого топлива возрастает до $(2,0–2,4) \cdot 10^3$ нм^3/ч. Для минимального значения $N_{\text{э}}$ = 4 МВт, когда $B_{\text{утил}}$ $B_{\text{утил}}$ = 1663 нм^3/ч, при одинаковых значениях $D_{\text{ном}} = 50$ т/ч, $B_{\text{доп}}$ выше на $0,2 \cdot 10^3$ нм^3/ч, чем при $N_{\text{э}} = 5$ МВт.

Расход топлива при автономном режиме работы КУ изменяется согласно топливной характеристике, $нм^3/ч$:

$$B = 1773 + 59{,}9 \cdot (D_{П} - 20)^{1{,}04}$$

Данные зависимости позволяют дать оценку изменению расхода топлива при различных возможных условиях эксплуатации установки ГТЭ6П-П102.

Литература

1. Шелыгин, Б. Л. Котлы-утилизаторы парогазовых установок электростанций: учебное пособие / Б. Л. Шелыгин, А. В. Мошкарин; Минобрнауки России; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2012. – 283 с.

2. Шелыгин, Б.Л. Режимы работы оборудования парогазовых установок ТЭС: учебное пособие / Б.Л. Шелыгин; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – 2-е изд. перераб. – Иваново: УИУНЛ ИГЭУ, 2016. – 123 с.

УДК 621.4

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИЕ ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

АВЕРИН Н.И., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГРИГОРЬЕВ Е.Ю.

Газотурбинные установки (ГТУ) нашли широкое применение в промышленности и используются в качестве тепловых двигателей. Их КПД в зависимости от степени сжатия компрессора, температуры за камерой сгорания ГТУ может варьироваться в весьма широком диапазоне от 25 до 40 %.

В значительной мере КПД зависит от аэродинамического совершенства проточной части установки [1]. Работа направлена на снижение вихревого течения воздуха на концах рабочих лопаток, из-за перетекания воздуха через их концевые сечения и отрыв потока от спинок лопаток. Устранить эти недостатки возможно по средствам аэродинамического совершенствования формы лопатки за счет системы продольных канавок на их спинках.

Предлагаемая система работает следующим образом: специально спрофилированная форма лопатки с продольными канавками на их спинках приводит к периодическим разрывам скоростей по высоте лопатки, и эти зоны являются областями генерации турбулентности, что резко повышает устойчивость пограничного слоя к отрыву от стенок. Далее снижается ускорение потока на входной части спинки профиля и уменьшается локальный градиент давления на выходной части профиля, что также увеличивает устойчивость решетки к отрыву потока. Очевидно, что изменение формы спинок лопаток приводит к тому, что появляется повышенное трение о поверхности, однако это влияние не так велико, так как над поверхностью создается жидкая прослойка для течения основного потока рабочей среды, которая действует как смазка для основного потока. Напряжения трения над канавками в основном потоке уменьшаются.

В итоге было отмечено снижение среднего коэффициента потерь на 1,5 % по сравнению с исходным профилем.

Литература

1. Аверин, Н. И. Разработка и исследование способов снижения потерь в турбинных решетках / Н. И. Аверин, Е. Ю. Григорьев, А. Е. Зарянкин // Теплоэнергетика «Энергия-2016»: матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иваново: УИУНЛ ИГЭУ, 2016. – Т. 1. – С. 194.

УДК 621.311

ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ УСТАНОВКОЙ ОБРАТНОГО ОСМОСА

АЛИ ЯЗИД С.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.

Использование морской воды из-за высокой концентрации солей для питья, хозяйственных и промышленных целей невозможно. Поэтому необходимо опреснение морской воды – снижение концентрации растворенных солей до необходимого уровня.

Выделяют следующие методы опреснения воды:

1) биологические (способность водорослей поглощать соли из морской воды);

2) химические (химическое осаждение и ионный обмен);

3) физические (дистилляция, электродиализ, вымораживание и обратный осмос).

Установки обратного осмоса (УОО) обладают существенными преимуществами по сравнению с другими методами опреснения воды: энергетические затраты сравнительно невелики, установки конструктивно просты и компактны, работа их может быть легко автоматизирована.

Современные промышленные УОО (см. рисунок) включают фильтры тонкой очистки воды, систему реагентной подготовки, насосы высокого давления, блоки фильтрующих модулей и блоки химической промывки.



Блок баромембранных модулей рулонного типа

УДК 621.31

СЖИГАНИЕ ОБВОДНЕННОГО МАЗУТА В КОТЛАХ ТЭС

АХМЕТОВА Р.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ТАЙМАРОВ М.А.

В настоящее время существует проблема сжигания обводненного мазута в котлах ТЭС. По регламенту содержание воды в мазуте не должно превышать 3 % по массе. В результате транспортировки и хранения из-за неплотностей подогревателей массовая доля воды в мазуте повышается и доходит до 11 %. Сжигание такого мазута без разработанной технологии из-за высокого содержания воды сопровождается хлопками, отрывом факела от горелки, погасанием факела. Все эти факторы повышают долю химического и физического недожога топлива, приводят к загрязнению поверхностей нагрева коксовыми отложениями, ухудшающими теплообмен между продуктами сгорания и поверхностями нагрева. Следствием образования наружных отложений является ухудшение работы пароводяного циркуляционного контура котлов, опрокидывание или застой циркуляции.

Перед сжиганием мазут подогревают до 70–90 °С. Температура подогрева может быть выше и ограничивается стойкостью сальников мазутных насосов. Переход на сжигание мазута вызывает понижение температуры продуктов сгорания на выходе из топки в среднем на 100 °С, в связи с чем КПД котла ТГМ-84Б при работе на мазуте понижается в среднем на 1 % по сравнению с работой на газе. Для поддержания температуры продуктов сгорания на выходе из топки на уровне 1100–1150 °С при работе на мазуте применяют подогрев воздуха при помощи паровых калориферов, размещенных перед основными регенеративными воздухоподогревателями, нагревающими воздух, подаваемый на горелки, до 220–225 °С. Скорость выгорания мазута зависит от диаметра капли, получаемой при его распыливании, что зависит от его давления перед форсунками. В форсунках типа «Ильмарине» с механическим распыливанием давление мазута, как правило, выше, по сравнению с акустическими ультразвуковыми форсунками типа ФУЗ-5000, благодаря чему и достигается более тонкое распыливание. Кроме того, форсунки типа ФУЗ имеют более длинный факел за счет наличия распыливающего и транспортирующего агента водяного перегретого пара, давление которого составляет 0,7–1,4 МПа в зависимости от изменения нагрузки котла ТГМ-84А от 250 до 420 т/ч. Расход пара на распыление составляет в среднем от 0,17–0,43 на 1 кг мазута, причем наибольший расход пара 0,43 кг на распыливание мазута имеет место при паровой нагрузке 250 т/ч для котла ТГМ-84Б, давление мазута в паромеханических форсунках составляет 1,6 МПа при нагрузке 420 т/ч.

УДК 621.184.532

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА ВРАЩАЮЩИХСЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

ГУБАРЕВ А.Ю., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КУДИНОВ А.А.;
канд. техн. наук, доц. ЗИГАНШИНА С.К.

Вращающиеся регенеративные воздухоподогреватели (РВП) применяются для подогрева дутьевого воздуха энергетических котлов тепловых электростанций. Подогрев воздуха осуществляется за счет использования теплоты продуктов сгорания после водяного экономайзера энергетического котла. Внутри РВП проходят процессы теплообмена между уходящими дымовыми газами и воздухом, поступающим на горение [1, 2].

Современные РВП снабжаются поверхностью нагрева, выполненной из стальных листов толщиной до 1,5 мм различной формы профиля. Листы устанавливаются в корпусе РВП в виде пакетов набивки. Как правило, профиль листов волнистый, с гофрами. Высота гофр обеспечивает необходимую дистанцию между листами (рис. 1). Одним из недостатков данного типа набивки является его низкая тепловая эффективность, вызванная малыми значения коэффициентов теплоотдачи [3, 4]. В зависимости от скорости движения воздуха или продуктов сгорания значения коэффициентов теплоотдачи составляют ~50 $\text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{К}\right)$.

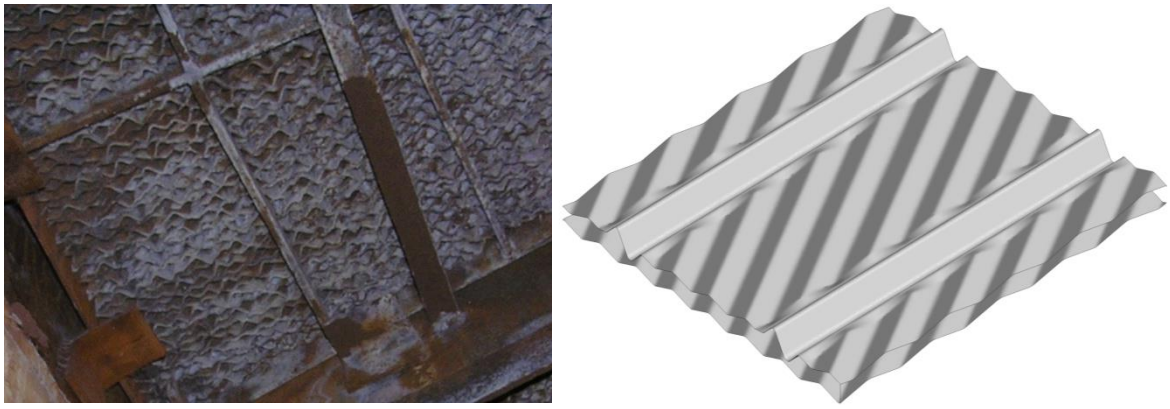


Рис. 1. Поверхность нагрева существующего РВП и профиль набивки

Производители набивок, применяемых в современных РВП, для повышения эффективности процессов теплообмена изменяют высоту гофр и волн листов, меняя тем самым гидравлический диаметр. Однако данные изменения геометрических параметров вызывают не только повышение эффективности процесса теплообмена, но и увеличение аэродинамического сопротивления.

Для анализа процессов теплообмена и движения потоков воздуха и продуктов сгорания в каналах, образованных листами набивки РВП, была создана модель набивки интенсифицированного профиля в программном комплексе ANSYS.

После создания трехмерной модели объема воздуха, заключенного в канале набивки, следовал этап разделения на конечные элементы – построение расчетной сетки. Для получения достоверного решения задачи построена сетка, состоящая из 3,3 млн тетраэдальных элементов, при этом для детального расчета пристенного пограничного слоя вблизи стенок набивки построено 10 инфляционных слоев. Часть расчетной сетки показана на рис. 2.

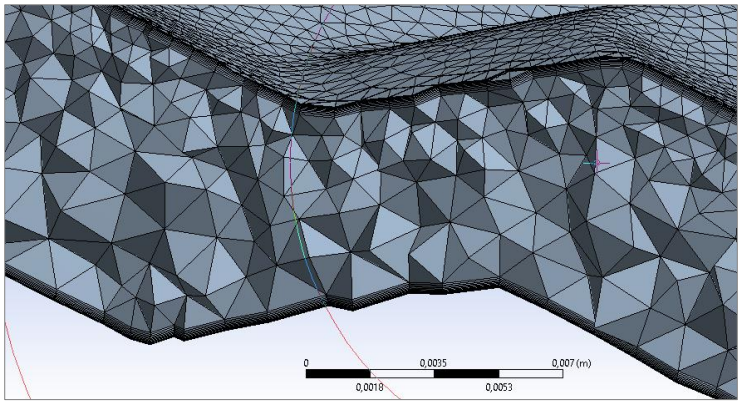


Рис. 2. Расчетная сетка

В результате численного решения модели обтекания потоком воздуха листов набивки получено распределение коэффициентов теплоотдачи по поверхности листов (рис. 3, *а*). Как видно из рис. 3, *а*, максимальные значения коэффициентов теплоотдачи достигаются на «подъемах» волн, где происходит сталкивание потока воздуха с поверхностью набивки. Именно в этих местах образуются зоны турбулизации потока, что и приводит к локальным максимумам теплосъема. Также можно отметить зоны максимальной теплоотдачи на дистанционирующей гофре в местах соприкосновения листов набивки и в местах сталкивания потоков воздуха, направленных волной под углом в 30° с гофрой.

Было предложено модернизировать дистанционирующий лист набивки путем изменения форм волн, без изменения площади проходного сечения и, соответственно, гидравлического диаметра. Разработаны два типа набивок, отличающихся формой дистанционирующего листа (рис. 3, *б*, *в*).

Набивка типа А (рис. 3, *б*) отличается от набивки, применяемой в современных вращающихся РВП, тем, что по длине листов изменяется направление наклона волн по отношению к потоку, последнее приводит к дополнительной турбулизации, и вызывает увеличение образования зон с повышенными коэффициентами теплоотдачи.

Профиль набивки типа Б (рис. 3, *в*) выполнен с разным продольным шагом волн. Данное решение дополнительно повышает турбулизацию потока, а также способствует снижению аэродинамического сопротивления набивки.

Анализ результатов исследований показывает, что предложенные изменения формы дистанционирующего листа приводят к увеличению образования локальных зон повышенного теплообмена. Установлено, что коэффициенты теплоотдачи разработанных конструкций теплообменных

поверхностей больше, чем у стандартной набивки на 7–20 % в зависимости от значения критерия Re. При этом применение набивки типа А в РВП-54 повышает эффективность теплообмена на 10,23 %, а типа Б – на 14,08 %. Использование набивки типа Б в РВП-54 приводит к снижению аэродинамического сопротивления на 37,4 %.

Для предлагаемых типов конструкций теплообменных поверхностей выполнены численные исследования, получены критериальные уравнения:

– набивка типа А: $Nu = 0{,}011Re^{0{,}906}Pr^{0{,}45}\cdot C_t\cdot C_l$;

– набивка типа Б: $Nu = 0{,}014Re^{0{,}882}Pr^{0{,}45}\cdot C_t\cdot C_l$.

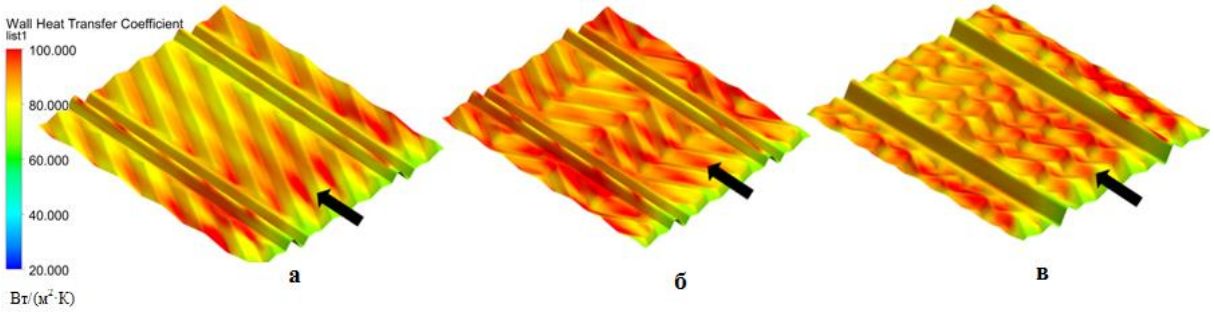


Рис. 3. Распределение коэффициентов теплоотдачи по поверхности дистанционирующего листа: *а* – набивка интенсифицированного профиля; *б* – набивка типа А; *в* – набивка типа Б

Литература

1. Боткачик, И. А. Регенеративные воздухоподогреватели парогенераторов / И. А. Боткачик. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.

2. Кудинов, А. А. Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения: монография / А. А. Кудинов, С. К. Зиганшина. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 320 с.

3. Зройчиков, Н. А. Техническое обоснование замены листовой набивки РВП на поверхность, образованную шаровыми решетками / Н. А. Зройчиков // Проблемы энергетики: докл. науч.-практ. конф. ИПК Госслужбы. – 1998. – Ч. 3. – С. 264–269.

4. Пат. 2215963 (RU), МПК[2000.01] F 28 F 3/02, F 28 D 17/02. Теплообменная поверхность / Исаев А. Е., Кудинов В. А., Кудинов А. А., Стефанюк С. А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Самарский государственный технический университет. – № 2001129192/06; заявл. 29.10.2001; опубл. 10.11.2003. Бюл. № 31.

УДК 621.438

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ПОМОЩЬЮ ВПРЫСКА ВОДЫ ПЕРЕД КОМПРЕССОРОМ

ЕРШОВ В.Е., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГОЛУБЕВ А.В.

Газотурбинные установки (ГТУ) на территории РФ работают в широких температурных диапазонах, что сказывается на их эффективности и безопасности работы [2, 5, 8]. В [5] указывается на то, что для роста надежности работы установки и увеличения КПД блока в целом в холодное время года целесообразно повышать температуру наружного воздуха, всасываемого в компрессор. Аналогичным образом, при использовании системы автоматического регулирования по методу [7] возникает проблема нехватки массового расхода воздуха за ГТУ.

Одним из способов решения данной проблемы может служить впрыск нагретой воды в КВОУ. Подобные испытания проводились на промышленных компрессорных установках и газовых турбинах малой мощности [1, 3, 6]. Использование такой технологии позволит повысить температуру воздуха, поступающего в камеру сгорания, для стабилизации горения факела; возрастает количество рабочего тела в ГТУ, что даст дополнительную выработку мощности, а также увеличится количество теплоты уходящих газов, что позволит эффективнее применять котел-утилизатор в составе блока ПГУ. Кроме того, известны решения (например, система «Wet compression» [4]), которые используют впрыск холодной воды для снижения температуры воздуха и повышения эффективности работы компрессора. Это подтверждает реальную возможность применения добавки воды в КВОУ ГТУ.

Для проверки эффективности внедрения данной технологии использовалась модель газотурбинной установки ГТЭ-160 Калининградской ТЭЦ-2. Были проведены испытания при впрыске воды разной температуры и неизменных положениях регулирующих органов клапана подачи топлива и угла открытия ВНА (табл. 1) и при включенном регуляторе поддержания температуры уходящих газов, посредством изменения угла открытия ВНА (табл. 2). Приведенные результаты показаны с учетом затрат на нагрев добавленной воды. В скобках указаны результаты при условии использования неутилизируемых источниках тепла (т.е. не учитывается тепло на нагрев добавленной воды).

Таблица 1

Выходные величины ГТУ при впрыске воды

№	Масса воды, кг/с	Температура, °С			Мощность ГТУ, МВт	Количество теплоты, МДж/кг
		воды	на входе в ОК	на выходе ГТУ		
1	–	–	0	537,585	132,22	332,29
2	38	30	9,98	470	134,05	352,2 (400,46)
				–12,57 %	1,38 %	5,99 (20,52) %
3	25	40	9,88	492,9	133,26	346,68 (379,39)
				–8,31 %	0,79 %	4,3 (14,17) %
4	19	50	9,99	504,62	132,89	343,82 (369,48)
				–6,13 %	0,51 %	3,47 (11,19) %
5	15	60	9,89	512,68	132,65	341,78 (362,68)
				–4,63 %	0,33 %	2,86 (9,15) %

Таблица 2

Выходные величины при изменении угла открытия ВНА

№	Масса воды, кг/с	Положение ВНА, %	Температура, °С			Мощность ГТУ, МВт	Количество теплоты, МДж/кг
			воды	на входе в ОК	на выходе ГТУ		
1	–	60	–	0	537,585	132,22	332,29
2	38	0	30	11,4	528,97	140,59	329,98 (378,12)
					–1,6 %	6,33 %	–0,7 (13,79) %
3	25	18	40	10,96	536,92	138,18	329,98 (362,68)
					–0,12 %	4,5 %	–0,7 (9,15) %
4	19	30	50	10,79	537,01	136,44	331,63 (357,29) %
					–0,11%	3,19 %	–0,2 (7,52) %
5	15	38	60	10,48	536,93	135,27	332,72 (353,62)
					–0,12 %	2,31 %	0,13 (6,42) %

При впрыске воды без регулятора снижается температура уходящих газов, что уменьшит максимальную температуру пара на выходе КУ и отрицательно скажется на работе паровой турбины.

При регулировании температуры уходящих газов с помощью положения ВНА наблюдается прирост мощности в 2,31–6,33 % (3,05–8,37 МВт) при колебаниях температуры на выходе ГТУ в пределах 1,6 % (8,6 °С) и количестве теплоты в пределах 0,83 % (2,76 МДж).

Вывод приведенных испытаний: оптимальным выбором является вода с температурой 40 или 50 °С, так как при 60 °С наблюдается наименьший прирост мощности и количества теплоты, а при 30 °С расход воды на впрыск вырастает до 38 кг/с, что составляет около 11 % от расхода

воздуха и является верхней границей расхода, который возможно впрыскивать в ГТУ [1, 6]. Кроме того, при сильных морозах (–15 °С и ниже), температуры в 30 °С недостаточно для нагрева воздуха выше 0 °С при прежнем расходе воды.

Таким образом, данное решение может быть применено на реальных объектах ГТУ. Результаты исследований показывают небольшой (2–4 %) прирост мощности самой ГТУ и существенное (6–13 %) увеличение количества тепла подаваемого в КУ энергоблока ПГУ.

Литература

1. Повышение параметров работы компрессоров впрыском воды в проточную часть / К. Д. Андрееви др. // Труды XIII Междунар. науч.-техн. конф. по компрессоростроению. – Сумы, 2004. – Т. 1. – С. 155–161.

2. Мошкарин, А. В. Влияние определяющих факторов на изменение мощности ПГУ-325 / А. В. Мошкарин, Б. Л. Шелыгин, Т. А. Жамлиханов // Вестник ИГЭУ. – 2010. – № 4. – С. 13–16.

3. Пат. 2334112 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ F01K 23/02, F02C 6/00. Способ повышения КПД парогазовой энергоустановки / Кириленко В. Н.; заявитель и патентообладатель В. Н. Кириленко. – № 2005102152/06; заявл. 28.01.2005; опубл. 10.07.2006. Бюл. № 28.

4. Патент US 6553768 B1, 29.04.2003 Combined water-wash and wet-compression system for a gas turbine compressor and related method / Trewin R. R., Carberg W. G.; заявитель и патентообладатель General Electric Co. – US09703577; заявл. 01.11.2000.

5. Рабенко В. С. Об особенностях эксплуатации энергоблоков ПГУ в климатических условиях России / В. С. Рабенко, И. В. Будаков, В. М. Неуймин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 6. – С. 1–13.

6. Экспериментальное исследование газодинамических характеристик многоступенчатого осевого компрессора с впрыском воды в проточную часть / С. О. Середа и др. // Труды XIII Междунар. науч.-техн. конф. по компрессоростроению. – Сумы, 2004. – Т. 1. – С. 177–183.

7. Тверской Ю. С. Регулирование расхода воздуха в компрессор газотурбинных установок бинарного энергоблока при изменяющихся климатических условиях / Ю. С. Тверской, И. К. Муравьев // Энергетик. – 2017. – № 2. – С. 49–51.

8. Шелыгин, Б. Л. Влияние направляющего аппарата компрессора ГТЭ-110 на показатели работы блока ПГУ-325 / Б. Л. Шелыгин, А. В. Мошкарин, Т. А. Жамлиханов // Вестник ИГЭУ. – 2010. – № 3. – С. 6–11.

УДК 621.644

РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОТОКА ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

ИВКОВ Е.А., СБИТНЕВ А.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГРИГОРЬЕВ Е.Ю.

Основным недостатком существующих стабилизаторов потока, применяемых в трубопроводных сетях после местных сопротивлений и перед расходомерами, является то, что конструкция подразумевает использование выравнивающих фильтров, проходное сечение которых много меньше, чем живое сечение самого трубопровода [1]. Отмеченное обстоятельство приводит к увеличению локальных скоростей при выравнивании потока и необоснованному росту гидравлических потерь. По этой причине стабилизаторы в настоящее время в трубопроводных сетях используются крайне ограничено, в первую очередь на расходомерных участках.

Однако применение стабилизаторов может существенно улучшить гидравлические и вибрационные характеристики трубопроводных сетей, и для этого необходимо решить задачу снижения гидравлических потерь самих стабилизаторов.

Для снижения отмеченных выше недостатков существующих стабилизаторов были предложены 3 новые конструкции, разработанные с применением подхода, основанного на первой теореме Гельмгольца о вихревом течении. Было сделано предположение, что вихревые образования могут разрушаться при обтекании тонких перфорированных поверхностей (пластин, труб), расположенных с большим шагом по ходу течения потока, а не в поперечном сечении трубопровода, как в большинстве существующих конструкций. За счёт такого решения возможно увеличение проходного сечения примерно в 2–3 раза, что приводит к значительному уменьшению гидравлического сопротивления.

Для подтверждения этого был разработан физический экспериментальный стенд [2] и модели для исследования. Физический стенд представляет собой аэродинамическую трубу с установленными моделями для испытаний. В соответствии с испытаниями УПП по ГОСТ 8.586.1 был сделан завихритель потока типа «Chevron» для генерации начальной неравномерности потока. В качестве моделей для испытаний были выбраны стандартные стабилизаторы трубчатого типа и типа Цанкер, а также предложенные новые конструкции кольцевого, пластинчатого и линейного типов.

Система измерений стенда позволяет определять как аэродинамические характеристики работы стабилизаторов, так и вибродинамические показатели. Оценивать аэродинамическую (гидравлическую) эффективность работы новых устройств целесообразно на основе коэффициента гидравлических потерь и коэффициента равномерности поля скоростей на выходе из стабилизатора.

Для получения внутренней картины течения в стабилизаторе и участке трубопровода параллельно с физическими испытаниями проводились численные исследования посредством CFD расчетов в инженерном пакете Ansys CFX.

Испытание новой серии стабилизаторов показали, что современные конструкции обладают меньшим в 3–5 раз гидравлическим сопротивлением по сравнению со стандартными устройствами, эпюра скоростей на выходе стабилизаторов более равномерная, к тому же использование предложенных типов стабилизаторов позволяет в 2–3 раза снизить вибрационные показатели всей трубопроводной системы.

По результатам исследований были получены выводы, которые показывают значительное превосходство предложенных вариантов стабилизаторов по сравнению с традиционно используемыми конструкциями. Так, коэффициент гидравлических потерь в кольцевом типе оказался на уровне 1,0, что в 3 раза ниже, чем у стандартного дискового типа Цанкер, а коэффициент равномерности поля скоростей у кольцевого типа оказался на 25 % выше.

Полученные численным методом картины течения (поля скоростей и давлений) рабочей среды в стабилизаторе совместно с участком трубопровода показывают, что предложенные варианты конструкций эффективно выравнивают начально неравномерные поля скоростей в рабочей среде и разрушают вихревые структуры.

Таким образом, предложенные новые конструкции стабилизаторов превосходят по технико-экономическим показателям существующие аналоги и могут быть рекомендованы к использованию.

Установка стабилизатора в трубопроводную систему в зависимости от давления и температуры рабочей среды возможна по схеме фланцевого или сварного соединения.

Литература

1. Сбитнев, А. А. Разработка и исследование новых типов устройств подготовки потока для расходомерных участков трубопроводов / А. А. Сбитнев, А. Д. Водениктов, Е. Ю. Григорьев // Матер. докл. XII Междунар. молодежной науч. конф. «Тинчуринские чтения» / под общ. ред. Э. Ю. Аббуллазянова. – Казань, 2017. – Т. 2. – С. 43–44.

2. Григорьев, Е. Ю. Разработка и исследование устройств подготовки потока для трубопроводных систем / Е. Ю. Григорьев, А. А. Сбитнев, А. И. Ивков // Наука и инновации в технических университетах: матер. конф. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2017. – С. 23–24.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ХАРАКТЕРА ОТЛОЖЕНИЙ НА ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ

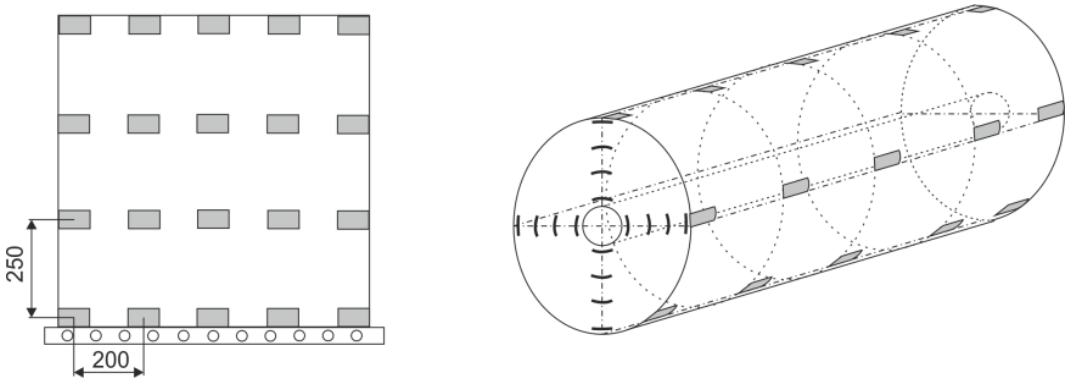
КИРИЛЛОВА Н.А., САИТОВ С.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.

При выявлении причины преждевременного выхода из строя мембранных блоков установки обратного осмоса был использован метод ИК-спектрометрии для изучения характера отложений на мембранах [1].

Исходным материалом для исследований состава отложений стали отработанные ацетатцеллюлозные мембраны обратноосмотического рулонного фильтрационного элемента NanoRO K 8040-C установки «Шарья МП-25-ОО» для переработки стоков котельной «Ашальчи» Ашальчинского месторождения ПАО «Татнефть».

Образцы выбирались из пяти точек по длине и четырех точек по ширине 1, 8, 15 и 21 мембранного слоя. Всего 80 образцов (см. рисунок).



Места изъятий проб материала

Изучение морфологии поверхности отработанных обратно-осмотических ацетатцеллюлозных мембран производилось на сканирующем зондовом микроскопе Solver HV методом атомно-силовой микроскопии.

Исследование инфракрасных спектров было выполнено с помощью ИК-Фурье спектрометра ALPHA (модуль ALPHA-E) фирмы Bruker Optics (Германия) методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО или attenuated total reflection – ATR) в ЦКП на базе ЮРГПУ им. М.И. Платова.

Литература

1. Комов, А. П. Применение ИК-спектрометрии отражения для классификации различных объектов // V Регион. конф. магистрантов, аспирантов и молодых ученых по физике, математике и химии: сб. ст. – Омск, 2017. − С. 177–180.

УДК 621.311.22

РАЗРАБОТКА ТОПЛИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЛОКА ПГ-325 ПРИ НАГРУЗКАХ, НИЖЕ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

КОЛМАКОВ Р.М., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ШЕЛЫГИН Б.Л.

В условиях переменных режимов работы ТЭС эффективное функционирование оборудования ПГУ электростанции осуществляется с использованием автоматизированных систем управления технологическими процессами. При этом необходимы зависимости ряда выходных параметров объекта от определенных факторов.

Входящий в состав ПГУ-325 котел-утилизатор (КУ) марки П-88 является ее пассивным элементом. Характеристика его работы определяется условиями эксплуатации ГТУ.

В случае сжигания природного газа расход топлива в КС ГТУ определяется при значениях его теплоты сгорания $Q_{\text{Н}}^{\text{с}}$ и коэффициенты полезного действия (КПД) ГТУ (брутто) $\eta_{\text{гту}}$ по формуле:

$$B = \frac{N_{\text{э}}}{\eta_{\text{гту}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{с}}}.$$

Для определения величины B при неизменном составе топлива предварительно необходимо рассчитать значение от определяющих характеристик $N_э$ и $t_{нар}$.

Для диапазона нагрузок $N_э = 55 \div 88$ МВт математическое описание зависимости КПД ГТУ от определенных факторов представим в виде:

$$\eta_{гту} = A_t + C_t \cdot (N_э - 55)^n$$

где A_t, C_t – коэффициенты, зависимые от величины $t_{нар}$; n – показатель степени, значение которого меньше 1,0.

В свою очередь, величина коэффициента A_t при $N_э = 55$ МВт зависит от температуры наружного воздуха и может быть определена по формуле:

$$A_t = 0,3044 - K_1 \cdot (t_Н + 30)^m = 0,3044 - 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot (t_Н + 30)^{2,1}.$$

Значение константы K_1 при последовательном повышении показателя степени m выше 1,3 с интервалом 0,2–0,3 определяем по формуле:

$$K_1 = \frac{0,3044 - A_t}{(t_Н + 30)^m}.$$

Для нагрузок $N_э = 55 \div 88$ МВт и интервала температур $t_н = -30 \div +30\,°C$, значения коэффициента пропорциональности C_t могут быть определены на основании зависимости:

$$C_t = C_{-30} - K_2 \cdot (t_Н + 30)^l = 0,00242 - 0,194 \cdot 10^{-6} \cdot (t_Н + 30)^{1,9},$$

где $C_{-30} = 0,00242$ – коэффициент пропорциональности при $t_Н = -30\,°C$.

Значение коэффициента K_2 при последовательном повышении показателя степени l выше 1,8 определяется по формуле:

$$K_2 = (0,00242 - C_t) / (t_Н + 30)^l.$$

Для среднего значения электрической мощности 72 МВт диапазона $N_э = 55 \div 88$ МВт относительные отклонения расчетных значений $\eta_{гту}$ от исходных не превышает 0,5 %.

Согласно представленному материалу топливную характеристику блока ПГУ-325 применяемую к $N_э = 55 - 88$ МВт для диапазона $t_{нар} = -30 - +30\,°C$ представлены в виде, нм^3/ч:

$$B_т = E_т + F_т \cdot (N_э - 55)^k,$$

где $E_т$ и $F_т$ – коэффициенты, зависящие от величины $t_{нар}$; k – показатель степени, значение которой выше 1,0. Значение коэффициента $E_т$ находится по формуле:

$$E_т = 18213 + K_з \cdot (t_{нар} + 30)^h = 18213 + 0{,}99 \cdot 10^{-6} \cdot (t_{нар} + 30)^{1{,}7},$$

где коэффициент $K_з$ имеет постоянное значение; h – показатель степени, величина которой выше 1.

Для нагрузок $N_э = 55 - 88$ МВт и интервала температур $t_{нар} = -30 - +30\,°C$, значения коэффициента пропорциональности $F_т$, зависящего от температуры $t_{нар}$ могут быть определены на основании зависимости:

$$F_т = K_4 \cdot (t_{нар} + 30)^b + F_{-30} = 130{,}57 + 0{,}1108 \cdot (t_{нар} + 30)^{1{,}1}.$$

Значение показателя степени k можно представить одинаковым для всех четырех зависимостей при $t_{нар} = -30; 0; 15; 30\,°C$. В данной работе значение k определяется при проектной величине $t_{нар} = 15\,°C$ и равняется 1,2.

Таким образом, используя полученную характеристику для любого значения электрической мощности $N_э = 55 - 88$ МВт и температурах $t_{нар} = -30 - +30\,°C$ можно определить расчетное значение $B_т$.

Литература

1. Шелыгин, Б. Л. Котлы-утилизаторы парогазовых установок электростанций: учебное пособие / Б. Л. Шелыгин, А. В. Мошкарин; Минобрнауки России; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2012. – 283 с.

2. Шелыгин, Б.Л. Режимы работы оборудования парогазовых установок ТЭС: учебное пособие / Б.Л. Шелыгин; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – 2-е изд. перераб. – Иваново: УИУНЛ ИГЭУ, 2016. – 123 с.

УДК 62.253.5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ПО РАСЧЕТУ УПРУГОЙ ЛИНИИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК

ЛУКЬЯНОВА К.Н., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КИСЕЛЕВ А.И.

Большая часть производства электричества в мире осуществляется на электрических станциях, использующих для выработки электроэнергии турбины. Одним из самых ответственных элементов турбины являются рабочие лопатки, установленные на диске или непосредственно на роторе.

Рабочие лопатки испытывают воздействия от центробежных сил вращения, аэродинамических сил потока пара или газа, а также от температурных напряжений, которые влияют на их прочность. Поэтому во всех перечисленных случаях для определения деформаций и напряжений на рабочих лопатках приходится обращаться к более совершенным методам и соотношениям классической теории упругости [1].

Цель эксперимента – разработать оригинальный метод расчета для упругой линии рабочей лопатки, в программе Visual Studio на языке C#.

Разработанный оригинальный метод для расчета упругой линии рабочей лопатки (в программе Visual Studio на языке C#), является простым в использовании и не противоречит законам физики.

В результате расчётов были выбраны вариационный метод Лагранжа и метод Ритца, которые в простой форме дают реализовать нужный поверочный расчет косого изгиба рабочей лопатки под действием аэродинамических нагрузок. Все расчетные зависимости верны для ограниченного ряда решений задач (лопатка с постоянными параметрами, одинаковыми по высоте сечениями и действующими на неё нагрузками). Когда эти параметры начинают изменяться, то формулами, выведенными для постоянных параметров, становится невозможно пользоваться. Появляется потребность строить численные модели, выводить эмпирические формулы, численно реализовывать частные параметры в общих случаях.

Программа внедрена в учебный процесс дисциплины «Динамика и прочность турбомашин» и используется в курсовой работе при расчёте цилиндрических лопаток на прочность.

Литература

1. Костюк, А. Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник для вузов / А. Г. Костюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 480 с.

УДК 621.311

АНАЛИЗ УСТАНОВОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ВОД ТЭС И АЭС В ПРУДАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ

МАМЛЕЕВА А.Р., ВИНОГРАДОВ А.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.

Пруды-охладители являются регуляторами поверхностного стока и обеспечивают оборотное водоснабжение крупных электростанций.

Пруды-охладители применяют при низких требованиях к эффекту охлаждения воды, наличии естественных водоемов или искусственных водохранилищ с большим объемом воды.

Авторы [1] разработали инновационную технологию снижения температуры поверхностных слоев воды в летнее время благодаря подъему более холодных придонных слоев. При этом параметры объекта определяют расчетным путем с использованием законов равновесия и движения жидкости.

Кроме того, известно устройство для подъема придонных слоев воды в водоеме, содержащее вертикальную трубу с лопастным винтом, соединенным с ветровым двигателем [3]. Недостатком устройства является бесполезность его применения в регионах с незначительными ветровыми потоками.

Известна система оборотного водоснабжения электростанции, разработанная авторами [4]. Система оборотного водоснабжения отличается тем, что дополнительное устройство для барботажа наружного воздуха размещено в зоне водосброса водоема-охладителя.

Данные труды направлены на повышение эффективности функционирования прудов-охладителей путем интенсификации тепломассообмена воды по объему водоема.

Литература

1. П. м. 52020 Российская Федерация, МПК^{7} E02B 15/00, F28B 9/06. Устройство для подъема придонных слоев воды в водоеме / Мадоян А. А.; заявитель и патентообладатель А. А. Мадоян. – № 2005136999/22; заявл. 29.11.2005; опубл. 10.03.2006. Бюл. № 7.

2. Пат. 2044825 Российская Федерация, МПК[7] Е 02В 15/00. Устройство для регулирования экологической системы водоема / Бирицкий М. И.; заявитель и патентообладатель М. И. Бирицкий. – № 5045884/15; заявл. 04.06.1992; опубл. 27.09.19945.

3. Патент на полезную модель № 39391. Система оборотного водоснабжения электростанции – 2004.

УДК 621.311.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВ

МАНИГОМБА Ж.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д

В работе рассмотрена альтернативная первичному источнику энергии замена нефтяного топлива, получаемая из бытовых и промышленных отходов республики Бурунди, так как основным энергетическим топливом (более 94 %) для населения республики являются древесина и торф, сжигаемые открытым огнём [1].

Показаны основные пути получения газа из отходов. Предложены основные направления решения проблемы дефицита первичного источника энергии.

Возможности получения газа из органических отходов. Для решения столь актуальной энергетической проблемы можно предлагать несколько путей её решения и одним из них является применение пиролизного процесса переработки торфа, древесных отходов, сельскохозяйственных биомасс, бытовых и промышленных отходов с целью получения из них вторичных энергетических ресурсов – пиролизный газ, дизельное топливо, кокс, древесный уголь, печное топливо.

В связи с этим нами были проведены исследования пиролизной переработки широко распространённых в Бурунди сельскохозяйственных и древесных отходов. Поэтому рассмотрим применение брикетов растительного происхождения, которые в последнее время получили широкое использование в малой энергетике Бурунди.

Брикеты и паллеты можно получать из отходов переработки зерновых культур, таких как рис, сорго, горох, фасоль, кукуруза и др.

Нами изучался процесс пиролиза проб биомассы в неподвижном и псевдосжиженном слоях.

Исследования в неподвижном слое проводили в реторте из кварцевого стекла с внешним электрообогревном со скоростью нагревания 6–9 °С/мин при температурах от 450 до 1150 °С.

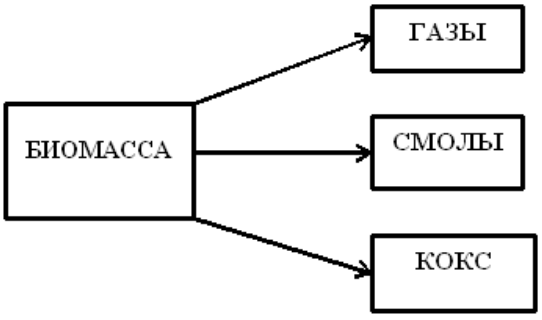
Известно, что в состав пиролизного газа в основном входят газы CO и H_2. Но в зависимости от метода его получения соотношение CO и H_2 варьируется от 1:1 до 1:3. В прямой зависимости от применяемого сырья и метода его переработки соотношение этих компонентов может изменяться в широких пределах. Как правило, процентное содержание веществ в сыром неочищенном пиролизом газе следующее:

$$CO – 11–18\ \%;\ H_2 – 12–28\ \%;\ CH_4 – 33–45\ \%;\ CO_2 – 1{,}5–2{,}5\ \%.$$

Задачей нашего исследования является максимальное получение пиролизного газа в качестве топлива из биомассы и торфа для обеспечения работы дизель-генераторов промышленной группы «REGIDESO» и газо-поршневых машин (ГПМ).

Известно, что выход пиролизного газа из биомассы зависит от её температуры, поэтому в нашем случае температурную зависимость скорости реакции будем рассматривать с применением уравнения Аррениуса.

Описание термического разложения биомассы выполним на основе упрощенной кинетической схемы, предложенной на рисунке [2].



Одноступенчатая схема кинетики пиролиза биомассы

В соответствии с этой схемой рассмотрим разложение биомассы в области высоких температур с образованием конечных продуктов, таких как кокс, газы и смолы.

Формальные константы скоростей этих процессов можно представить в виде уравнения Аррениуса:

$$k = k_0 A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right),$$

где k_0 – множитель, который не зависит от температуры, а определяется только видом реакции; E_a – энергия активации, характеризующая минимальную энергию, которой должны обладать частицы, чтобы вступить в химическое взаимодействие, зависящая от природы реагирующих веществ и не зависящая от их температуры, Дж/моль; T – температура биомассы, К; R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/моль·К.

В расчетах, выполненных в настоящей работе, значения констант скоростей реакций образования кокса, газов и смол, рассчитывались на основании эмпирических выражений, представленных в учебнике [2].

Литература

1. URL: encyklopedia.com.

2. Соколовская, Ю. Г. Пиролиз отходов промышленного производства / Ю. Г. Соколовская, П. Л. Фалюшин.

3. Prakash, N. Kinetic Modeling in Biomass Pyrolysis / N. Prakash, T. Karunanithi // Journal of applied sciences research. – 2008. – Vol. 4. – № 4(12). – Pp. 1627–1636.

УДК 004.42

ПРИМЕНЕНИЕ VR-ТЕХНОЛОГИИ НА ТЭС В ПОДГОТОВКЕ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА

МИНГАЗОВ Р.Р., МАТВЕЕВ С.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БОГДАНОВ А.Н.

Согласно исследованию VR-консорциума компанией КРОК и Институтом современных медиа (MOMRI): 24 % представителей российского бизнеса сказали, что в их компаниях уже внедрены или планируется внедрение технологии виртуальной реальности, а 70 % из них считают применение виртуальной реальности в рамках своей организации и отрасли возможным и перспективным.

VR-технология – это наглядный и инновационный инструмент, позволяющий в кратчайшие сроки и с минимальными затратами подготовить необходимых для производства специалистов, так как серьезной проблемой сейчас является недостаток квалифицированного персонала для выполнения различных ремонтных, регламентных и монтажных работ из-за сложности обучения, когда даже специализированные учебные центры не могут себе позволить наличия реального оборудования для проведения тренировок.

Кроме того, не стоит забывать, что в теплоэнергетике цена ошибки может быть слишком велика, поэтому виртуальная реальность – это уникальный инструмент отработки чрезвычайных ситуаций, оптимизированного по времени ремонта или демонтажа оборудования. В данной отрасли виртуальная реальность еще может применяться в качестве инструмента коллективного принятия решений разными специалистами, а также визуализации на этапе проектирования.

За рубежом виртуальную реальность уже используют многие энергетические компании, например: Chevron, Saudi Aramco, NIOSH, Bhavini и др.

В связи с вышеперечисленными проблемами нами разработана пилотная версия программного комплекса для обучения персонала (на примере машиниста башенного крана), что показано на рисунке. Тренажер уже включает в себя следующие элементы:

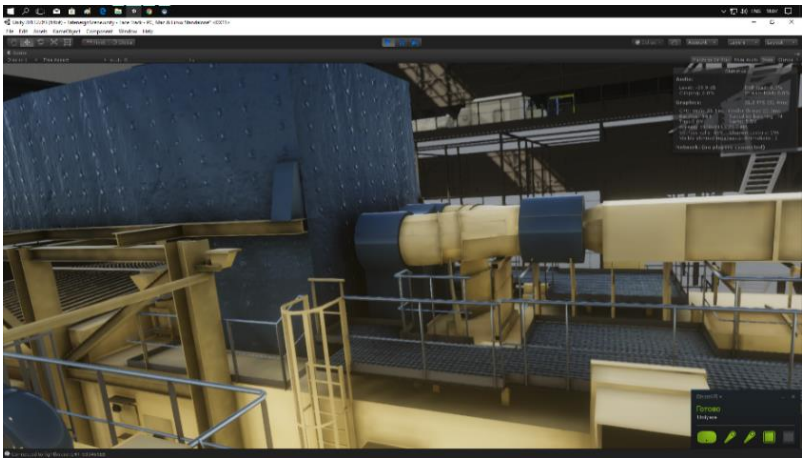
1) перемещение пользователя в виртуальном пространстве;

2) вывод тестовой информации в виде подсказок;

3) тестовое задание;

4) смоделированная ПГУ-230 МВт.

Особенностью тренажера является свободное перемещение пользователя в пространстве, его взаимодействие с виртуальными объектами, а благодаря захвату движения рук с помощью контроллеров будет вырабатываться мышечная память.



Пилотная версия тренажера

Таким образом, тренажёры с применением технологии виртуальной реальности – это инструмент для подготовки производственного персонала для работы на энергетических установках. Данная технология эмулирует реальные операции и процессы, с которыми сталкиваются специалисты в ходе эксплуатации оборудования. Визуализация процессов происходит

в виртуальной среде на фотореалистичных копиях существующих объектов. Более того, благодаря виртуальной реальности можно проводить удаленное обучение и регулярную оценку знаний персонала в любом районе Татарстана.

Литература

1. Розенсон, И. А. Основы теории дизайна: учебник для вузов / И. А. Розенсон. – Питер, 2006. – 274 с.

2. Фрэнсис Хэмит. Виртуальная реальность.

3. Интернет-ресурс: http://oculus-rift.ru/virtual-reality-and-devices.

УДК 621.311

ВНЕДРЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ

МИНГАЛЕЕВА Л.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. НИЗАМОВА А.Ш.

В постановлении Кабинета Министров РТ «Об утверждении государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на 2014–2020 годы» от 4 декабря 2013 года № 954 одним из главных направлений роста энергоэффективности в жилищно-коммунальном хозяйстве является внедрение энергосберегающих технологий при модернизации. Существенный энергосберегающий эффект может быть получен за счет комплексной модернизации тепло- и водоснабжения зданий кустовым методом с установкой автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов и ликвидацией центральных тепловых пунктов (ЦТП).

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – это комплекс устройств, который транспортирует тепловую энергию от тепловой сети к отоплению и ГВС. ИТП размещают в подвалах дома или в технических помещениях здания.

По словам председателя комитета ЖКХ исполкома Казани Искандера Гиниятуллина, в 2017 году в Казани планировалось установить 1394 ИТП в 1115 многоквартирных домах и 165 бюджетных учреждениях.

Модернизация сетей связана с тем, что наблюдается высокий износ центральных тепловых пунктов (примерно 70 %), а это говорит о больших потерях тепловой энергии. Для их реанимирования, по словам энергетиков, понадобится 3,7 млрд рублей.

Если установить ИТП, то за счет эффективного оборудования получим экономию на 12 %, т. е. если для нагрева 1 $м^3$ воды в ЦТП необходимо 0,062 Гкал, то в ИТП – 0,055 Гкал.

УДК 621.311

СОЗДАНИЕ ЗАМКНУТЫХ БЕССТОЧНЫХ МАЛООТХОДНЫХ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЭС И ПРЕДПРИЯТИЯХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

МИНИБАЕВ А.И., МАМЛЕЕВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.;
д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВ А.А.

Использование электромембранных аппаратов в схемах переработки и утилизации стоков позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет полного исключения сброса, а также получить дополнительный экономический эффект благодаря выделению из стоков ценных компонентов, возвращаемых в производственный цикл.

Для отработки технологий утилизации высокоминерализованных сточных вод ионитной ВПУ был собран лабораторный электромембранный стенд. За основу был взят лабораторный стенд, разработанный в 2013 году в рамках работы № 14.B37.21.0658. Стенд был кардинально преобразован в соответствии с новой задачей. Принципиальные изменения коснулись основного элемента – электромембранного аппарата. Был установлен новый мембранный пакет из более химически стойких мембран, позволяющих работать в агрессивной среде при высоких токовых нагрузках.

Электромембранная установка в качестве основного элемента включает четырехтрактный электромембранный аппарат. Аппарат представляет собой многокамерную однопакетную сборку, в которой особым способом соединены ионообменные мембраны и прокладки проточного типа, образующие тракты для подачи обессоливаемых растворов. Материалы, контактирующие с растворами, – химически коррозионностойкие.

Аппарат предназначен для проведения лабораторных работ при изучении применимости процесса для различных способов очистки и обессоливания воды, переработки сточных вод, концентрирования водных растворов неорганических солей, разделения раствора солей на щелочной и солевой растворы.

УДК 621.48

РАЗРАБОТКА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ С РАБОЧИМ ТЕЛОМ ДИОКСИД УГЛЕРОДА

ПАВЛЫЧЕВ С.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГРИГОРЬЕВ Е.Ю.

Проблема снижения выбросов парниковых газов в настоящее время стоит очень остро. Ведущие мировые исследования направлены на повышение энергетической эффективности и экологической безопасности производства электрической энергии за счет разработки перспективных энергетических установок с кислородным сжиганием топлива, использующих в качестве рабочего тела диоксид углерода, позволяющий практически полностью исключить выброс в окружающую среду вредных веществ и парниковых газов.

Термодинамические циклы и технологические схемы энергоблоков на диоксиде углерода предлагаются научными коллективами из разных стран. Так, один из первых вариантов циклов был предложен Болландом и Сафером, экономичность предлагаемого варианта энергоустановки находится на уровне 45–48 % при температуре на входе в газовые турбины порядка 1300–1400 °С и степени повышения давления 30–45. Следующим шагом роста экономичности стало увеличение рабочего давления свыше критического и переход к полностью замкнутому циклу Мэтью и Нихарта (Mathieu and Nihart at. all), а также Родни Аллама (Allam R.J. at all). Эффективность предложенных вариантов установок с рабочим давлением порядка 200–400 атм изменяется в диапазоне 49–59 % при начальной температуре 1200–1400 °С.

Рассматриваемые решения находятся на начальном этапе своего развития, и в открытых источниках приведена лишь информация только о диапазонах изменения ключевых параметров и соответствующих им уровнях энергетической эффективности, что не позволяет делать однозначные выводы о практической применимости предлагаемых решений.

Работа направлена на выявление методики проектирования и последующее исследование газовой турбины, рабочим телом которой является принципиально новое вещество – диоксид углерода при сверхкритических параметрах. В качестве исходных данных к разработке методики проектирования выбраны расчетные показатели наиболее перспективного во внедрении цикла Родни Аллама.

Литература

1. New Power Cycle Provides High Efficienty and Lower Cost Electricity Generation from Coal while Eliminating Atmospheric Emissions / R. J. Allam and et al. // COAL-GEN, 2013.

УДК 621.311.22

ВЫБОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ СУЛЬФАТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НОВО-САЛАВАТСКОЙ ТЭЦ

ПЕЧЕНКИН А.В., ВЛАСОВА А.Ю., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.;
канд. техн. наук, доц. ВЛАСОВ С.М.

На ТЭЦ для нейтрализации и очистки ВОРР с повышенной концентрацией сульфатосодержащих компонентов могут быть использованы следующие методы:

1. Метод очистки высокоминерализованных отработанных регенеративных растворов от сульфатов тяжелых металлов с применением карбоната бария $BaCO_3$ [1]. На первой стадии обработка воды проводится известковым молоком (ИМ) (до pH 7,5–8) с последующим введением $BaCO_3$ и отделением от осадка.

2. Метод очистки сульфатосодержащих сточных вод (СВ) с применением известкового молока совместно с алюминийсодержащим реагентом [2]. Известкование проводят при соотношении $CaSO_4$, равном 1: 0,0016–0,6 в качестве алюминийсодержащего реагента используют осадок водопроводных станций, которые вводят перед известкованием.

3. Метод нейтрализации высокоминерализованного отработанного регенеративного раствора, основанный на известковании ИМ с добавлением флокулянта [3]. Нейтрализацию проводят 5 %-ным ИМ. Известкование проводят при соотношении $CaSO_4$, равном 1 : 0,0016–0,6, в качестве алюминийсодержащего реагента используют осадок водопроводных станций, который вводят перед известкованием (до pH 9,4–9,5), затем применяют анионный флокулянт и пиритные отвальные хвосты горнообогатительного производства, содержащие железо (Fe) и серу (S).

4. Метод очистки поверхностных и подземных вод с высокой жесткостью (до 300–400 мг-экв/л), большим содержанием железа Fe и сульфатов тяжелых металлов с получением полезных продуктов: сухого осадка окиси железа (пигмент) [4], умягченной и осветленной воды.

Недостатками второго и третьего методов является высокая закупочная цена используемых реагентов.

5. Метод удаления взвешенных веществ с помощью вспенивающего вещества и соединений азота в сточных водах [5]. Взвеси и органические вещества удаляют с помощью первых мелких пузырьков, а вспенивающее вещество удаляют с помощью вторых пузырьков. Сточные воды, обработанные первыми и вторыми пузырьками, проходят через слой пористого адсорбента, который поляризован подачей тока, так что соединения азота и органические вещества остаются в этих водах, адсорбируются и удаляются. Также возможно удаление взвешенных и органических веществ, оставшихся в сточных водах, с помощью третьих мелких пузырьков до переноса таких вод в слой адсорбента.

Литература

1. Пат. 2448054 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ C02F 1/62, C02F 101/20. Способ очистки кислых сточных вод от сульфатов тяжелых металлов / Куценко С. А., Хрулева Ж. В.; заявитель и патентообладатель ОрелГТУ. – № 2010128360/05; заявл. 08.07.2010; опубл. 20.01.2012, Бюл. – № 11.

2. А. с. 1330078 СССР, МКИ^{4} C02F 1/58, C02F 101/10, C02F 103/10, C02F 103/34. Способ очистки сульфатсодержащих сточных вод / Шамраева Ю. К. [и др].; заявитель Воскресенский филиал научно-исследовательского института по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова; патентообладатели Ю. К. Шамраева [и др.]. – № 3944627; заявл. 08.07.1985; опубл. 15.08.1987, Бюл. № 30.

3. Пат. 2010013 Российская Федерация, МПК$^{1990.01}$ C02F 1/62. Способ очистки кислых сточных вод от ионов тяжелых металлов / Попик В. П. [и др.]; патентообладатель Научно-производственное объединение «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». – № 91 5012187; заявл. 02.08.1991.

4. Пат. 7326400 US. Treatment of high sulfate containing quicklime / Fred R. Huege. // Опубл. 05.02.2008.

5. Пат. 4280886 США. Method for treatment of sewage / Toshio Sawa, Masayoshi Kubota, Sankichi Takahashi, ToyohikoKaneko// Опубл. 28.07.1981.

УДК 621.311

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ БАШЕННОЙ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ГРАДИРНИ

ПРОСВИРНИНА Д.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВЛАСОВ С.М.

Основными процессами, сопровождающиеся сбросом диоксида углерода (CO_2) в атмосферу, на тепловых электрических станциях (ТЭС) являются сжигание органических видов топлива в паровых котлах и процесс десорбции в башенных испарительных градирнях (БИГ).

При эксплуатации башенных испарительных градирен происходят выбросы вредных веществ, которые, в свою очередь, ведут к негативным последствиям для окружающей среды и качества жизни человека:

1) тепловое загрязнение;

2) выбросы диоксида углерода (парникового газа), влияющие на теплообмен с окружающим пространством, блокирующие переизлучаемое тепло на ряде частот, что, в свою очередь, сказывается на формировании климата в целом.

В современный период времени известно, что к 2016 году концентрация диоксида углерода достигла своего максимального количества и превысила значение 400 ppm. В связи с этим, в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата было ратифицировано девяносто шестью странами-участниками Парижское соглашение, регулирующее меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года.

По анализу литературных данных можно сделать вывод, что за весь период эксплуатации БИГ не было проведено полномасштабных исследований по снижению выброса диоксида углерода из них.

В ходе проведения лабораторных исследований водно-химического режима для системы оборотного охлаждения с БИГ на смоделированном лабораторном стенде «Установка водооборотного охлаждения – 0,3» («УВО – 0,3») было замечено «явление», протекающее с абсорбцией и десорбцией диоксида углерода из воздуха многокомпонентными, в том числе щелочными, растворами при стабилизации химического равновесия системы. Замеченное «явление» не было однократным и повторялось при каждом исследовании.

Полученные результаты исследования являются предпосылкой для изучения влияния химических режимов системы оборотного охлаждения на процесс снижения диоксида углерода из БИГ.

УДК 621.311.22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА ЗА ГТУ-6П ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА П-102 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

СОЛОВЬЕВ М.М., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ШЕЛЫГИН Б.Л.

В период функционирования энергоустановки ГТУ6П-П102 при значениях электрической мощности $N_э = 6 - 7$ МВт вырабатывается пар низкого давления с параметрами $p_п = 6 - 7$ атм и $t_п$ = 230–240 °С, а также сетевая вода с температурой $t_{с.в}$ = 70–100 °С.

На величину паропроизводительности котла-утилизатора (КУ) влияют расход и температура газов за газово-турбинной установкой (ГТУ). Отмеченные характеристики зависят от используемого в качестве окислителя расхода уходящих из ГТУ газов при соответствующем $\alpha''_{ГТУ}$.

При работе КУ П-102 в режиме утилизации уходящих из ГТЭ-6П газов паропроизводительность КУ не превышает $D_п$ = 20 т/ч. Достижение значений, близких к проектным ($D_п$ = 40–50 т/ч), обеспечивается за счет тепловыделения в его топочной камере при сжигании дополнительного топлива в потоке уходящих из ГТУ газов.

На основании [2] по условию достижения полноты сгорания топлива минимальная концентрация кислорода в газах O_2^{MIN} = 13,4–14,1 %, поэтому согласно техническим условиям [1], данным [3] и предыдущим расчетным исследованиям в настоящей работе минимальное значение $\alpha''_{ГТУ}$ принято равным 3,85.

Для режима утилизации теплоты ГТУ при давлении ($p_п = 7$ атм) основная роль в парообразовании принадлежит теплообмену в конвективном испарительном пакете, зависящему от расхода уходящих газов из ГТУ. Одновременно расход окислителя дополнительно сжигаемого топлива с целью полноты его сгорания возрастает с повышением расхода газов из ГТУ.

Поэтому важно было определить оптимальное значение $\alpha''_{ГТУ}$, обеспечивающее отмеченные требования. В качестве исходного (базового) значения была принята минимальная величина $\alpha''_{ГТУ}$ = 3,85. В ходе анализа вариантные расчеты выполнялись при 5 значениях $\alpha''_{ГТУ}$ и их последовательном повышении в пределах 3,85–4,05.

Исследование проводилось с использованием программного продукта «TRAKT» применительно к природному газу с теплотой сгорания 8539 ккал/м^3 при максимальных электрических нагрузках ГТУ-6П $N_э = 6-7$ МВт и температурах наружного воздуха $t_н = -30 - +30$ °С.

В ходе анализа расчеты выполнялись при постоянном расходе топлива в КС $B_{утил}$ = 2,398 · 10^3 нм^3/ч. В случае увеличения $\alpha''_{ГТУ}$ выше 3,85 происходит снижение температуры газов перед ГТУ-6П, тем самым уменьшается электрическая мощность (ниже 60 МВт) и падает расход теплоты на ее выработку $Q_{ген}$.

При проведении вариантных расчетов с увеличением $\alpha''_{ГТУ}$ значение $Q_{ген}$ снижается ниже 1464 ккал/с и обеспечивает постоянное значение температуры $t_п$ = 235 °С.

Относительно снижения $Q_{ген}$ значения расходов питательной воды $D_{пв}$ и расхода пара $D_{пе}$ изменялись таким образом, что температура насыщенного пара (за барабаном) на входе в радиационный пароперегреватель ПЕ была постоянной $t_{нас}$ = 178 °С.

При конечной энтальпии пара процесса технологического производства $h_к$ = 110 ккал/кг изменение энергозатрат на текстильном предприятии, ккал/с:

$$\Delta Q_{пр} = \frac{\Delta D_{пе} \cdot (h_{пе} - 110) \cdot 10^3}{3600} = 0,278 \cdot \Delta D_{пе} \cdot (h_{пе} - 110) = 163,5 \cdot \Delta D_{пе},$$

где $\Delta D_{пе}$ – изменение расхода пара по сравнению с базовым вариантом, т/ч; $h_{пе}$ = 698 ккал/кг – энтальпия пара при $t_{пе}$ = 235 °С.

По результатам вариантных расчетов значения температур перед газовой турбиной и КУ в зависимости от $\alpha''_{ГТУ}$ рассчитывается по формулам:

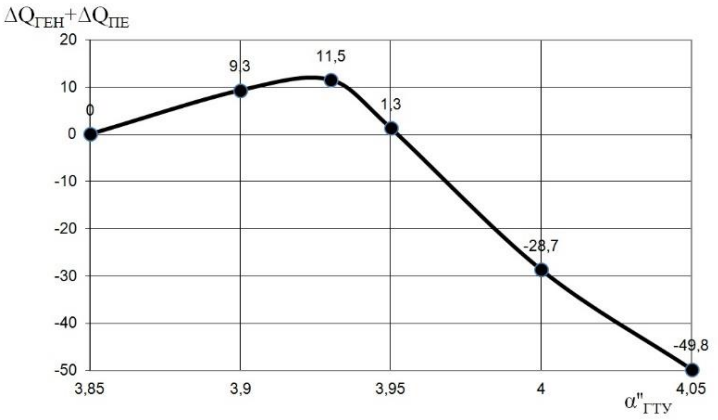
$$\upsilon'_{гт} = 844 + 183 \cdot \left(4,05 - \alpha''_{гту}\right)^{1,05},$$

$$\upsilon'_{ку} = 466 + 88 \cdot \left(4,05 - \alpha''_{гту}\right)^{1,03}.$$

Результаты вариантных расчетов представлены в таблице.

Результаты вариантных расчетов

Наименование характеристик	Значения коэффициента $\alpha''_{ГТУ}$					
	3,85	3,9	3,93	3,95	4,00	4,05
Расход теплоты на выработку э/э $Q_{ген}$, ккал/с	1460	1459	1458	1457	1453	1449
Измерение расхода теплоты на выработку электрической мощности $\Delta Q_{ГЕН} = Q_{ГЕН} - Q_{ГЕН}^{0}$	–	–1	–2	–3	–6	–11
Расход пара $D_{пе}$, т/ч	16,43	16,51	16,53	16,40	16,29	16,19
Расход газов $G_Г$, нм^3/с	25,36	25,68	25,88	26,00	26,32	26,64
Температура газов перед ГТ $\vartheta'_{ГТ}$,°С	879	870	865	861	852	844
Температура газов перед КУ $\vartheta'_{КУ}$,°С	484	479	477	475	470	466
Температура ух. газов $\vartheta_{УХ}$,°С	103	102	102	102	103	103
$\Delta Q_{ПЕ}=163\cdot\Delta D_{ПЕ}$	–	10,3	13,5	4,3	–22,7	–38,8
$\Delta Q_{ГЕН}+\Delta Q_{ПЕ}$	–	9,3	11,5	1,3	–28,7	–49,8



Зависимость изменения суммарного расхода теплоты от $\alpha''_{ГТУ}$

По результатам расчетного исследования по условию обеспечения минимально допустимой концентрации кислорода в газах 13,5 % [2] величина $\alpha''_{ГТУ} = 3{,}93$.

Литература

1. ГОСТ 29328-92. Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия. – Введ. 1993-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.

2. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки ТЭС: учебное пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 580 с.

3. Шелыгин, Б. Л. Режимы работы котлов-утилизаторов в составе ПГУ электростанций: учебное пособие / ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – 2-е изд., перераб. и доп. – Иваново, 2015. – 128 с.

УДК 681.31(075.8)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТАВКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

УФАНЮКОВА О.С., АСА СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. канд. экон. наук, доц. СЕРПУХОВА Е.П.

Применение инновационных технологий при поставке электрической энергии является важным направлением деятельности предприятий данной сферы. Такие технологии обеспечивают безопасную эксплуатацию электрических сетей, предотвращая отклонения и колебания напряжения, перенапряжения, повышая надежность электроснабжения по воздушным линиям (ВЛ) посредством использования традиционных методов (секционирование, устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматического включения резерва (АВР)), но при участии современных автоматических пунктов секционирования столбового исполнения (АПС) или вакуумных реклоузеров. АПС осуществляет не просто секционирование, а автоматическое секционирование воздушных линий. Автоматическое секционирование и АПВ применяются в сетях с односторонним питанием, а в сетях с двусторонним питанием к перечисленному может добавляться АВР. Эффективность применения АПВ на ВЛ очень высокая при кратковременных авариях от порывов ветра, падении деревьев, грозовых разрядах.

Применение АПС дает возможность при аварийной ситуации на ВЛ не посылать срочно оперативно-выездную бригаду. Эту работу успешно выполнит АПС, который либо изолирует поврежденный участок, либо обеспечит бесперебойное электропитание от резервного источника с помощью АВР, а при наличии дистанционной связи подаст сигнал на диспетчерский пункт [4].

Эти и другие инновационные технологии целесообразно внедрять в деятельность конкретных предприятий [3]. Мы изучили работу АО «Самарагорэнергосбыт» – основного поставщика электрической энергии в г. Самара [1]. Созданная в декабре 2008 года компания строго следует Федеральному закону «Об электроэнергетике» [5], следит за качеством услуг по поставке электрической энергии, заключает договоры с потребителями, производит расчеты с клиентами. Объем фактического полезного отпуска электроэнергии потребителям в ноябре 2017 г. составил

188862,91 тыс. кВт · ч. У АО «Самарагорэнергосбыт» имеется большой опыт по внедрению инновационных технологий. В 2017 г. предприятие стало использовать автоматизированную информационную систему коммерческого учета электроэнергии (АИСКУЭ) для исполнения функций:

1) непрерывного автоматического сбора данных с учетных приборов и их отправки непосредственно на сервер;

2) постоянного накопления и хранения информации за прошлые периоды;

3) определения подключений к сети энергетического снабжения несанкционированного характера;

4) анализа информации по энергопотреблению с учетом структуры потребителей для оптимизации производственных процессов;

5) подключения удаленного плана, отключения конечных потребителей от сети.

АО «Самарагорэнергосбыт» также использует кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) для более высокой надежности кабельных линий (КЛ) при монтаже концевых и соединительных муфт. СПЭ-кабели имеют меньший диаметр, они легче, чем кабели с бумажно-масляной изоляцией. Поэтому прокладывают такие кабели большими длинами, уменьшая число соединений и увеличивая надежность линий. Отсутствие жидких компонентов в изоляции позволяет предприятию использовать СПЭ-кабели в широком диапазоне окружающих температур и без ограничений по разности высот прокладки. Они экологически более безопасны и не требуют постоянного контроля, обслуживания в процессе эксплуатации [2].

Выполненные исследования показали, что применение инновационных технологий при поставке электрической энергии конкретной организацией является не только условием полноценной работы предприятия сферы ЖКХ, но и создает основу для безопасного развития региона.

Литература

1. АО «СамГЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://samges.ru/about/ – (Дата обращения: 26.12.2017).

2. Энергетика. Оборудование. Документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://forca.ru/stati/kabeli/primenenie-spe-kabeley-s-izolyaciey-iz-sshitogo-polietilena.html. – (Дата обращения: 26.12.2017).

3. Серпухова, Е. П. Теплоэффективная эксплуатация жилых домов для предотвращения потепления. – Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Социально-гуманитарные и экономические науки: сборник статей [Электронный ресурс]. – Самара: СГАСУ, 2016. – С. 362–365.

4. Толкачев А.И., Горбачев М.В. Применение автоматических пунктов секционирования для повышения надежности и автоматизации работы ВЛ // Современная электроника. – 2008. – № 9. – С. 43–46.

5. Об электроэнергетике: федер. закон РФ от 26 марта 2003 г. №35-ФЗ (ред. от 29 июля 2017 г.).

УДК 621.311

СПОСОБ ВТОРИЧНОГО ПЕРЕГРЕВА ВОДЯНОГО ПАРА В ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ УТИЛИЗАЦИОННОГО ТИПА

ХУСАИНОВ К.Р., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КУДИНОВ А.А.;
канд. техн. наук, доц. ЗИГАНШИНА С.К.

Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2030 г. в области отечественной энергетики предусматривается строительство и ввод в эксплуатацию на тепловых электростанциях парогазовых установок утилизационного типа (ПГУ-У). Данное направление развития отечественной энергетики обусловлено высокими значениями коэффициента полезного действия (КПД) ПГУ-У по отпуску электрической энергии [1, 3]. При этом одной из задач повышения экономичности ПГУ-У является увеличение КПД паровой турбины ПГУ, который не превышает 35–36 % из-за отсутствия системы регенерации и невысоких начальных параметров водяного пара [2, 5].

Для повышения экономичности работы парогазовой установки электростанции предлагается промежуточный перегрев водяного пара, отработавшего в ЦВД паровой турбины, осуществлять в камере сгорания газотурбинной установки (ГТУ) (рис. 1) [4].

При реализации данного способа работы ПГУ теплота, выделяющаяся при осуществлении процесса горения органического топлива, полезно используется для вторичного (промежуточного) перегрева водяного пара, происходит уменьшение расхода вторичного воздуха, служащего для снижения температуры газов перед проточной частью газовой турбины,

что приводит к падению общего расхода атмосферного воздуха, подаваемого в турбокомпрессор ГТУ, и затрат энергии на привод турбокомпрессора:

$$G_B^* = G_{B1} + G_{B2}^*; \quad G_{B2}^* = G_{B2} - \Delta G_{B2},$$

где G_B^* – общий расход циклового воздуха с учетом промежуточного перегрева водяного пара; G_{B1}, G_{B2} – расходы первичного и вторичного воздуха без учета промежуточного перегрева водяного пара; G_{B2}^* – расход вторичного воздуха с учетом промежуточного перегрева водяного пара.

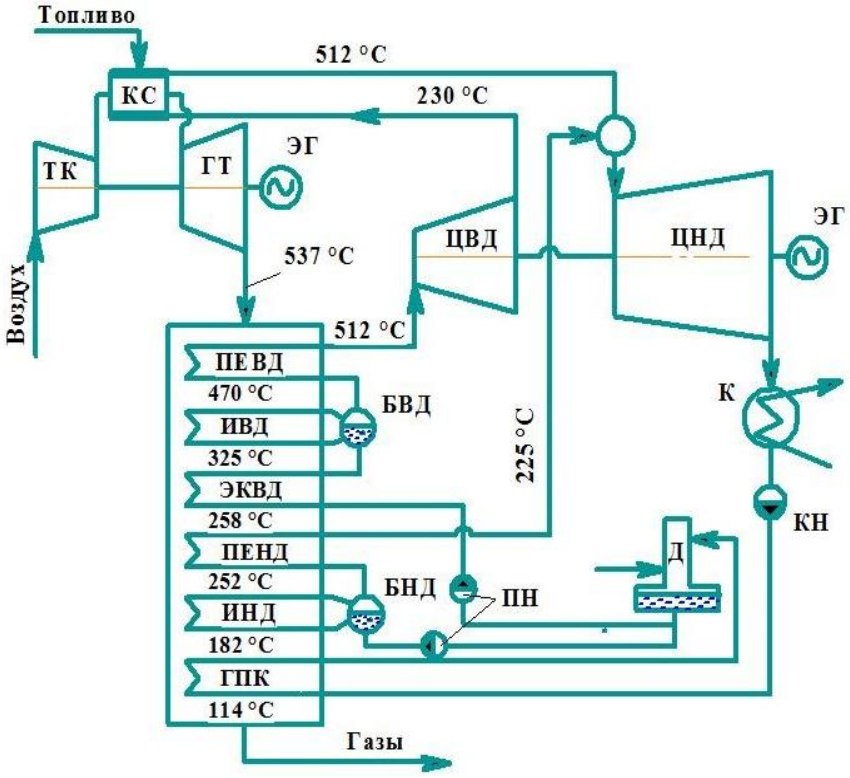


Рис. 1. Тепловая схема ПГУ-450 с промежуточным перегревом водяного пара в камере сгорания ГТУ

Рассмотрим предложенный способ повышения экономичности парогазовой установки применительно к парогазовому энергоблоку мощностью 450 МВт (ПГУ-450), включающему две газотурбинные установки мощностью 150 МВт каждая, два паровых двухконтурных котла-утилизатора и паровую турбину мощностью 150 МВт.

Особенностью предлагаемого способа работы ПГУ является незначительное снижение расхода пара высоких параметров (с 202,4 до 195 т/ч), обусловленное уменьшением расхода газов ГТУ, поступающих в котел-утилизатор. Расход топлива, поступающего на горение в камеру сгорания ГТУ, определяется по формуле:

$$B_{\text{Т}} = \frac{G_{B1}(h'_{\text{гт}} - h''_{\text{тк}})}{Q^{\text{р}}_{\text{н}}\eta_{\text{кс}} + h_{\text{т}} - h'_{\text{гт}}}.$$

Здесь $h'_{\text{гт}}$ – энтальпия газов перед проточной частью газовой турбины; $h''_{\text{тк}}$ – энтальпия сжатого в турбокомпрессоре циклового воздуха; $h_{\text{т}}$ – энтальпия топлива перед камерой сгорания; $\eta_{\text{кс}}$ – КПД камеры сгорания; $Q^{\text{р}}_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания природного газа.

Выделяющаяся при сгорании топлива теплота:

$$Q_{\text{п.с}} = G_{B1}h''_{\text{тк}} + B_{\text{Т}}(Q^{\text{р}}_{\text{н}} + h_{\text{т}}).$$

Уравнение теплового баланса камеры сгорания ГТУ при промежуточном перегреве водяного пара:

$$G_{B1}h''_{\text{тк}} + B_{\text{Т}}(Q^{\text{р}}_{\text{н}}\eta_{\text{кс}} + h_{\text{т}}) + G_{B2}h''_{\text{тк}} - D_{\text{пар}}(h_{\text{пар2}} - h_{\text{пар1}}) = G_{\text{г}}h'_{\text{гт}}.$$

Здесь $D_{\text{пар}}, h_{\text{пар1}}, h_{\text{пар2}}$ – расход и энтальпия вторично перегреваемого водяного пара перед и после камеры сгорания ГТУ.

Снижение расхода атмосферного воздуха определяется по формуле:

$$\Delta G_B = G_B - G^*_{B2} = G_B - \frac{\left[G_{B2}h''_{\text{тк}}\right] - \left[D_{\text{пар}}(h_{\text{пар2}} - h_{\text{пар1}})\right]}{h''_{\text{тк}}}.$$

Прирост КПД паровой турбины при промежуточном перегреве водяного пара вычисляется с учетом относительного внутреннего η_{0i} и электромеханического $\eta_{\text{мг}}$ КПД турбины:

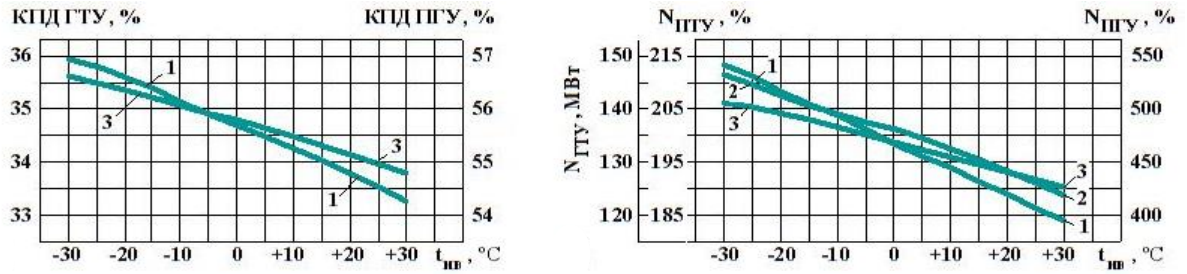
$$\Delta\eta_{\text{пт}} = \eta^*_{\text{пт}} - \eta_{\text{пт}} = (\eta^*_t - \eta_t)\eta_{0i}\eta_{\text{мг}}.$$

Мощность паровой турбины при промежуточном перегреве водяного пара в камере сгорания ГТУ определяется по формуле:

$$N_{\text{пт}} = 2D_0^{\text{ВД}}\text{Н}_{\text{ЦВД}} + 2(D_0^{\text{ВД}} + D_0^{\text{СД}})\text{Н}_{\text{ЦНД}},$$

где $\text{Н}_{\text{ЦВД}} = h_5 - \left[\eta_{0i}^{\text{ЦВД}}(h_5 - h_{\text{аид}})\right]$, $\text{Н}_{\text{ЦНД}} = h_{\text{b}} - \left[\eta_{0i}^{\text{ЦНД}}(h_b - h_{6\text{ид}})\right]$, – теплоперепады водяного пара в ЦВД и ЦНД паровой турбины; $\eta_{0i}^{\text{ЦВД}}$, $\eta_{0i}^{\text{ЦНД}}$ – относительный внутренний КПД ЦВД и ЦНД паровой турбины.

На рис. 2 представлены результаты проведенного анализа работы парогазовой установки с двухконтурными котлами-утилизаторами при промежуточном перегреве водяного пара в камере сгорания газотурбинной установки при различных температурах наружного воздуха $t_{\text{НВ}}$.



а *б*

Рис. 2. Зависимость КПД (*а*) и мощности (*б*) установок при промежуточном перегреве водяного пара в камере сгорания ГТУ от температуры наружного воздуха $t_{\text{НВ}}$:
1 – для ГТУ; *2* – для паровой турбины; *3* – для ПГУ-450

Анализ результатов численных расчетов показывает, что при использовании промежуточного перегрева водяного пара в камере сгорания газотурбинной установки КПД ПГУ-450 повышается на 4,4 % (с 51,1 до 55,5 %), при этом уменьшается удельный расход условного топлива на 7,93 % (с 240,7 до 221,62 г/кВт · ч). Годовая экономия условного топлива в денежном выражении составляет 357,96 млн руб. Таким образом, результаты исследования подтверждают эффективность работы ПГУ при осуществлении промежуточного перегрева водяного пара в камере сгорания ГТУ.

Литература

1. Буров, В.Д., Дорохов Е.В., Елизаров Д.П. и др. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. М.: Изд. дом МЭИ, 2005. – 454 с.

2. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Трубины тепловых и атомных электрических станций. М.: Издательский дом МЭИ, 2001. 488 с.

3. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование: учебное пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2012. 325 с.

4. Пат. 2605879 РФ, МПК$^{2006.01}$ F01K23/10. Парогазовая установка электростанции / Кудинов А. А., Зиганшина С. К., Хусаинов К. Р.; заявитель и патентообладатель Самарский государственный технический университет – № 2015104681/06; опубликован 27.12.2016, Бюл. № 36.

5. Усов С.П., Кудинов А.А. Анализ технико-экономических показателей Сызранской ТЭЦ после ее модернизации с установкой ПГУ-200 // Энергетик. – 2013. – № 12. – С. 43–45.

УДК 621.18

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

ШЛЁНКИН Р.Ю., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КИСЕЛЕВ А.И.;
канд. техн. наук, доц. ВИНОГРАДОВ А.Л.

В настоящее время существует проблема оптимизации функционирования основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ, введенных в эксплуатацию двадцать и более лет назад, в связи с тем, что за этот период изменился и режим работы станции, и в рыночных условиях деятельности меняется используемое топливо. В результате применения непроектного топлива требуется переоценка режимов работы вспомогательного оборудования котла. Данные исследования посвящены оптимизации функционирования котельной установки БКЗ-320/140ГМ.

Для исследования была разработана динамическая математическая модель газовоздушного тракта. В состав модели вошли: воздушный и газовый тракты котла с дутьевыми вентиляторами, дымососами, их направляющими аппаратами, реализован процесс теплообмена в регенеративных воздухоподогревателях и калориферах. Она интегрирована в общую модель котла (пароводяной тракт, математическая модель горения, теплообмена, топливный тракт и т.д.). Также в ней учитывались присосы воздуха в топку котла и в дымовую трубу, что оказывает влияние на результаты расчетов.

За прототип взята Уфимская ТЭЦ-2. Модель полностью имитирует работу газовоздушного тракта, а также рассчитывает основные параметры, такие как температуры и давления в различных точках по воздуху и по уходящим газам, давление и расход топлива, температуры газов за поверхностями нагрева котла, содержание кислорода и давление в топке котла. Она позволяет провести исследования на различных режимах работы оборудования.

По результатам работы этой модели были получены расчетные данные, позволяющие в динамике оценить процессы, происходящие в трубопроводах газовоздушного тракта, а также в топке и поверхностях нагрева котла. На основе модели производились исследования и оптимизация деятельности тракта. Регулировались расходы воздуха и топлива на входе в топку, подключались и отключались калориферы, рассматривалось функционирование оборудования на различных видах топлива, таких как природный газ и мазут, а также работа в летнее и зимнее время года. На основе данных исследований были получены оптимальные значения загрузки и режимов работы вентиляторов и дымососов при работе на непроектном топливе.

УДК 608.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID ТЕХНОЛОГИЙ В ДОМОФОННЫХ СИСТЕМАХ

ЯШАГИН С.Д., ШАМСИЕВ Р.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. ФИЛИМОНОВА Т.К.

Большинство граждан Российской Федерации живут в многоквартирных домах, многие из них оснащены домофонами. Домофонные системы обеспечивают ограничение доступа нежелательных лиц в подъезд.

Путь домофонных систем прокладывался от простых механических к более сложным универсальным устройствам, в которых используется множество функций. С недавних времён начали появляться видеодомофоны, позволяющие передавать не только речь, но и видео.

Домофоны с помощью технологии GSM обеспечивают не только типовые функции обыкновенных домофонов, но и связь вызывной панели с мобильным телефоном владельца квартиры, т.е. теперь стало возможно открывать подъездную дверь со смартфона. Несмотря на развитие современных цифровых технологий, наиболее распространенные в РФ домофонные системы имеют явный недостаток – брелок необходимо прикладывать именно к определённому месту считывания [4].

RFID (англ. Radio Frequency IDentification – радиочастотная идентификация) – это способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в RFID-метках (транспондерах, устройствах, которые при получении входного сигнала изменяют его и передают обратно считывателю) [3].

Технология RFID получает все большее распространение, она используется в производственных процессах, для маркировки грузов при их транспортировке, в розничной торговле, для обеспечения безопасности и контроля доступа, в больницах для предотвращения подделки лекарств, отслеживания передвижения животных и во многих других областях [2]. Сферы использования данной технологии разнообразны, но её применение практически не охватывают домофонные системы. Предлагается использовать в домофонных системах бесконтактные технологии считывания карты. Данные технологии позволят при наличии карты доступа открывать дверь подъезда без физического контакта с домофонным считывателем. Дверь уже будет открыта, когда подойдёте к ней на расстоянии ближе 2 метров, при этом не важно, где находится карта, лежит она в кармане брюк или же глубоко в сумке. Данное решение будет способствовать повышению комфорта населения, особенно пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

В данном проекте разрабатывается универсальный модуль, подходящий к большинству, наиболее распространенных домофонов. Данный модуль будет представлять собой отдельный, независимый от домофона модуль, который будет интегрироваться в домофонную систему. Таким образом, в данную систему не будет внесено каких-либо критических изменений и доработок.

Модуль состоит из управляющего блока и антенны в едином корпусе. На данный момент разработан его тестовый образец. В случае успешной апробации и получения положительных отзывов подобное новшество можно будет тиражировать на другие многоквартирные дома Казани (более 5000 домов), затем по республике и на территории всей РФ (2 642 728 домов) [1].

Данный проект реализуется при поддержке научных консультантов из ФГБОУ ВО «КГЭУ» и специалистов из ООО «ТатСвязьСервис» и ООО «ВВМ-ПРИНТ». Он способствует большему внедрению современных цифровых технологий в наш быт и жилищно-коммунальное хозяйство. Также этот проект позволяет применить полученные во время учебы знания на практике в решении актуальной задачи и развить практические навыки в проектировании, монтаже и программировании автоматизированных систем в ЖКХ.

Литература

1. Ассоциация некоммерческих организаций по содействию развития товариществ собственников жилья и жилищно-строительных кооперативов [Электронный ресурс],– Режим доступа: http://tsg-rf.ru/library/504

2. Бхуптани М., Морадпур Ш., RFID технологии на службе вашего бизнеса. – Sun Microsystems, Inc., 2005, 7 с.

3. К.М. Генов, Учебный модуль по теме «Применение технологии RFID в складской логистике», – ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 4 с.

4. Лахири С., RFID. Руководство по внедрению – IBM, 2007, 25 с.

Секция 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

УДК 582.261.279

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

АХМЕРОВА Л.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОРДЕЕВА М.Э.

Водные растения – это древние прокариотические и эукариотические фотосинтезирующие организмы, которые ведут в основном симбиотический образ жизни. Водные растения распространены по всеми земному шару, они играют огромную роль в жизни природы и человека. Для решения вопросов исследования биоразнообразия водных растений и водорослей, их морфологии, физиологии и возможностей в биотехнологии необходимо создавать и поддерживать коллекцию культур водных растений, в том числе цианобактерий.

Разные типы цианобактерий рассматриваются как перспективные источники микроводорослевой биомассы для пищевой промышленности. Содержание белка в цианобактериях высоко и может достигать до 70 % сухого веса. Цианобактерии образуют многочисленную численность вторичных метаболитов, среди которых ядовитые и биоактивные пептиды. Некоторые из токсинов и иных цианобактериальных натуральных продуктов могут быть применены в медицине. Впрочем исследование и последующее открытие возможностей цианобактерий вполне вероятно лишь только впоследствии их культивирования.

Для роста и становления микробов в природе и в лабораторных критериях нужно присутствие питательных веществ. Запросы различных групп микробов к источникам энергии и химическим составляющим ориентируются их метаболическими возможностями. Выращивание и поддержание цианобактерий в лаборатории основано на создании натуральных условий обитания культивируемого организма, а также познании индивидуальностей обмена веществ.

Ведущими биогенными элементами считаются углерод, азот, фосфор, кислород, водород, сера.

Проделанный анализ литературных источников [3, 4] позволил составить список сред, применяемых для культивирования водных растений (таблица).

Список питательных сред для культивирования водных растений

Питательная среда	Возможный культивируемый объект
1. Среда 3NNB	Хлорококковые, вольвоксовые, нитчатые зеленые водоросли *Klebsormidium flaccidum* (Kutzing), желтозеленые водоросли *Heterococcus endolithicus*
2. Среда Данилова	Все группы почвенных водорослей
3. Среда Бристоль (в модификации Голлербаха)	Все группы почвенных водорослей
4. Среда Громова	Универсальная среда, применяемая в разных разведениях
5. Среда Кнопа	Для зеленых водорослей
6. Среда Прата	Для хранения коллекции культур
7. Z-8 Medium	Универсальная среда

Проведенный литературный анализ возможностей культивирования цианобактерий показал, что используются открытые установки и аппараты закрытого типа в полностью контролируемых условиях. Установки открытого типа рассчитаны на выращивание культуры в бассейне (могут быть лотки и иные емкости с разными методами смешивания) в жидких питательных средах. В таком типе требуется обязательно подача углекислоты и инсоляция. Выделение микроводорослей в культуру с помощью классических способов считается отлично изученной процедурой. Выбор подходящей среды считается необходимым условием для удачного культивирования водных растений [3].

Все питательные среды для культивирования водных растений возможно поделить на три группы: синтетические, обогащенные и почвенные вытяжки. Синтетические, или искусственные среды были сделаны, прежде всего, для того, чтобы гарантировать культивирование водных растений как для экспериментальных изучений, так и для поддержания жизнеспособности штаммов. К искусственным средам относят среды Болда, Кнопа, Прата, Бристоль, Данилова. Обогащенные среды готовятся методом прибавления питательных веществ к природной воде или обогащением синтетической среды раствором почвенной вытяжки, растительных экстрактов (например, торфяного мха), экстракта дрожжей и т. д. [1]. Водные растения, растущие на почвенной вытяжке, как правило, имеют обычную морфологию, и эти культуры возможно поддерживать долгое время [2].

Более благоприятным для культивирования цианобактерий считается Среда 3NNB. В ее состав входят: макроэлементы: $NaNO_3$, $Ca\ Cl_2 \times 2H_2O$, $MgSO_4 \times 7H_2O$, K_2HPO_4, KH_2PO_4, NaCl, щелочной раствор ЭДТА 1 мл, кислый раствор железа 1 мл, раствор бора 1 мл, раствор микроэлементов 1 мл: $ZnSO_4 \times 7H_2O$, $MnCl_2 \times 4H_2O$, MoO_3, $CuSO_4 \times 5H_2O$, $Co(NO_4)_2 \times 6H_2O$. Подбор среды для культивирования водных растений нужно проводить с учетом физиологических и биохимических индивидуальностей каждого вида или отдела.

Литература

1. Andersen, R. A. Traditional microalgae isolation techniques / R. A. Andersen, M. Kawachi // Algal culturing techniques / R. A. Andersen. Elsevier Academic Press, 2005. – P. 82–100.

2. Watanabe, M. M. Freshwater culture media / M. M. Watanabe // Algal culturing techniques / R. A. Andersen. Elsevier Academic Press, 2005. – P. 13–20.

3. Гайсина, Л. А. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие / Л. А. Гайсина, А. И. Фазлутдинова, Р. Р. Кабиров Р.Р. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. – 152 с.

4. Хазиев, Ф. Х. Количественные методы почвенно-альгологических исследований / Ф. Х. Хазиев, Р. Р. Кабиров. – Уфа: БФАН СССР, 1986. – 172 с.

5. Floyd, G. L. Cellular organization, mitosis, and cytokinesis in the ulotrichalean alga, Klebsormidium / G. L. Floyd, K. D. Stewart, K. R. Mattox // Journal of Phycology. – 1972. – Vol. 8. – P. 176–184.

6. Darling, R. B. Heterococcus endolithicus (Xanthophyceae) and other terrestrial Heterococcus species from Antarctica: Morphological changes during life history and response to temperature / R. B. Darling, E. I. Friedmann, P. A. Broady // Journal of Phycology. – 1987. – Vol. 23. – P. 598–607.

УДК 577.32

БУФФАЛО КАК ОБЪЕКТ ВЫРАЩИВАНИЯ НА ТЕПЛЫХ ВОДАХ ГРЭС

АХМЕТОВА Д.Р., КГЭУ, г. КАЗАНЬ

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОВОРКОВА Л.К.

В настоящее время рыбные запасы внутренних водоемов находятся в критическом состоянии и поддерживаются в основном за счет искусственного воспроизводства. Поэтому единственным надежным источником увеличения объемов пищевой рыбопродукции является аквакультура.

Производство товарной рыбы считается одним из наиболее перспективных направлений сельскохозяйственной деятельности. Это позволяет не просто насытить внутренний рынок ценным пищевым продуктом, но и снизить в целом высокую долю в продовольственной корзине импортной продукции [6].

Одним из источников увеличения рыбной продукции в нашей стране является интенсивное рыбохозяйственное освоение водоемов-охладителей ТЭС и АЭС. Повышенная температура воды вызывает изменения количественного и качественного составов кормовой базы, ихтиофауны, условий обитания гидробионтов и создает благоприятные возможности для вселения комплекса теплолюбивых рыб и повышения рыбопродуктивности водоемов [5].

В условиях нестабильного термического режима водоемов-охладителей перспективны для выращивания в них рыбы не только дальне-восточного, но и северо-американского комплекса: большеротый, малоротый и черный буффало [4].

Цель работы состоит в изучении биологических и физиологических параметров разных видов буффало.

Большеротый буффало – быстрорастущая и крупная рыба, не уступающая по темпу роста карпу, достигает веса 45 кг. Наиболее ценен, чем другие виды. Он хорошо переносит мутную воду, не требователен к гидрохимическому режиму. В отличие от толстолобиков в водоемах-охладителях возможен естественный нерест. Созревает на 3-м году жизни, икра – мелкая, клейкая, нерест – с первой половины марта до конца лета при температуре воды 14,4–16,7 °С. Выклев при температуре 17 °С происходит на 9–10-е сутки. Чаще всего откладывает икру на растения. Молодь питается низшими ракообразными, годовики потребляют водяных жуков, остракод, реже – фитопланктон. Рыбы старшего возраста предпочитают зоопланктон, из бентических животных – личинок хирономид и ракообразных. В прудах активно потребляют комбикорма. Средняя продукция буффало – не более 2–3 ц/га. Ценным промысловым качеством является способность буффало собираться в стаи в придонных слоях и его доступность для отлова активными орудиями лова [3].

Получение потомства от буффало начинается с наступлением устойчивой среднесуточной температуры воды не ниже 18–19 °С. Размножение буффало можно проводить естественным путем в обычных карповых нерестовых прудах и заводским методом. Последний метод целесообразно

применять на базе комплексов растительноядных рыб. Для получения половых продуктов от буффало в инъекциях используют гипофизы сазана, карпа, леща, карася, обыкновенного сома, а также хорионический гонадотропин [1].

Малоротый буффало – по пищевой ценности выше большеротого, но растет значительно медленнее. Достигает половозрелости на 3–4-м году жизни. Рот нижний, жаберный аппарат не приспособлен к фильтрации планктона – тычинки короткие и редкие. Сеголетки быстро переходят на питание зообентосом. У рыб массой 60–70 г он составляет более 50 % пищи, у двухлеток более 2/3 пищевого комка представляют личинки хирономид и другие донные животные. Потребляет буффало и детрит, в прудах его кормят карповыми комбикормами [2].

Черный буффало – бентофаг, растет быстрее малоротого. Созревает на 4–5-м году жизни. Как и сазан, концентрируется в преднерестовый период и осенью, с понижением температуры воды до 15–13 °С, держится стаями у дна.

Буффало более теплолюбив, чем карп. Его можно выращивать вместе с племенным материалом растительноядных рыб, но не с карпом. В прудах совместно с карпом и пестрым толстолобиком буффало растут хуже, поражаются лернеозом. При недостатке в прудах естественной пищи буффало нужно кормить комбикормом [3].

Таким образом, по физиологическим показателям буффало могут быть с успехом использованы для вселения в неспускные водоемы комплексного назначения, в частности в водоемы-охладители энергетических объектов.

Литература

1. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Наука, 2002.

2. Гончаренко, Р. И. Водохранилище Кармановской ГРЭС и перспективы его рыбохозяйственного использования / Р. И. Гончаренко, В. Г. Махнин, Г. Ф. Миловидова // Сборник науч. тр. ГосНИОРХ. – 1988. – № 280. – С. 84–92.

3. Виноградов, В. К. Перспективный объект акклиматизации / В. К. Виноградов, Л. В. Ерохина // Рыбоводство и рыболовство. – 1970. – № 4. – С. 12.

4. Разведение буффало / В. К. Виноградов [и др.] // Рыбоводство и рыболовство. – 1975. – № 2. – С. 10–12.

5. Истомин, С. Г. Современное состояние зоопланктона, макрозообентоса и ихтиофауны Кармановского водохранилища / С. Г. Истомин, А. М. Истомина, А. В. Токарев // Вклад молодых учёных в рыбохозяйственную науку России: тез. докл. Всерос. молодёжной конф. – СПб.: ГосНИОРХ. – С. 68–72.

6. Кудерский, Л. А. Акклиматизация рыб в водоемах России / Л. А. Кудерский // Сб. науч. тр. ФГБНУ «ГосНИОРХ». – 2015. – Т. 4. – Вып. 343. – 290 с.

УДК 636.087.62

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА В КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ ДЛЯ РЫБ

АШРАФЗЯНОВА А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОРДЕЕВА М.Э.

Производство продуктов птицеводства в мире растет с каждым годом. Естественно, вместе с ним растет и количество побочных продуктов по переработке птицы (кости, перья, кровь), так называемые технические отходы. Например, птицефабрика на 400 000 кур ежегодно вырабатывает до 600 тонн технических отходов [1, 6, 7]. Для их хранения занято большое количество пахотных земель, которые являются источником неприятного запаха и сильно загрязняют подземные и поверхностные воды. Вот почему поиск путей эффективной утилизации технических отходов составляет одну из основных проблем птицеводства. Хотя именно эти технические отходы могут стать ценным сырьем для создания кормов для рыб.

В составе комбикормов для рыб обязательными и основными компонентами являются рыбная мука, различные виды шротов, растительные элементы (например, или пшеница, или горох, или дрожжи и т.д.). Чаще всего в состав также входит мясокостная мука (корма для карпа, сома и т. д.) [3, 4]. Следует отметить, что рыбная и мясокостная мука – это основные стоимостные компоненты комбикормов. Следовательно, возникает вопрос о возможности замены данных продуктов на более дешевые аналоги. Одним из вариантов для замены можно предложить отходы птицефабрик, рассмотренные выше.

К примеру, мясокостную муку как кормовую добавку для рыб возможно производить из непригодных в пищу туш птиц, допущенных ветеринарным надзором для использования на корма, а также из трупов птиц,

павших от незаразных болезней, с добавлением некондиционного пера. От качества исходного сырья будет зависеть полезная ценность мясокостной муки. Необходимо помнить, что она должна содержать до 50–60 % протеина.

Кровяную муку обычно изготавливают из крови и костей (не более 5 %). Она приобретает цвет от красно-коричневого до черного. При изготовлении корма для рыб используется мука только 1 сорта. В ней содержится не менее 70 % протеина и не более 5 % жира [5]. Из-за дисбаланса аминокислотного состава полезная ценность кровяной муки невелика. Так, соотношение изолейцина и лейцина составляет 1:10, а при высоком уровне гистидина и лизина в ней мало метионина и аргинина. Добавляя небольшое количество кровяной муки (до 5–6 %) в состав комбикормов для рыб можно усилить их пищевую реакцию и оказать общее положительное воздействие.

Перьевая мука производится по специальной технологии. Снятое с убитой птицы перо промывают в теплой воде и загружают в котел. Проводится при высоком давлении гидролиз пера, что повышает усвояемость протеинов. После окончания гидролиза, варки, стерилизации и сушки муку выгружают из котла, охлаждают, просеивают [2]. В перьевой муке содержится большое количество протеина, но концентрация в ней лизина меньше, чем в рыбной и мясокостной муке. Уровень метионина ниже, чем в рыбной муке, но больше, чем в мясокостной.

Таким образом, использование технических отходов птицефабрик для кормопроизводства рыбам перспективно и экономически целесообразно, а также решает проблему утилизации отходов. Однако возникает вопрос процентного соотношения компонентов производимых отходов, максимально приносящего положительный эффект в кормлении различных видов рыб.

Литература

1. Домашнее животноводство. Отходы птицефабрик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zhivotnovodstva.net/node16.html.

2. Кадыров, Д. И. Переработка биологических отходов в кормовые добавки экструзионным методом / Д. И. Кадыров, В. Л. Плитман // Ваш сельский консультант. – 2009. – № 3. – С. 22–25.

3. Магазин агро оборудования Fermash. Комбикорм для рыб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fermash.com.ua/agrotehnologii/recepty-kombikormov/kombikorm-dlja-ryby.

4. Патентный поиск. Состав комбикорма для выращивания карпа в садках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.findpatent.ru/patent/246/2464800.html.

5. Петрушенко, Ю. Н. Плазма крови вместо рыбной муки / Ю. Н. Петрушенко, С. В. Гусейнов // АгроРынок. На стол зоотехнику. – 2010. – № 2. – С. 20–21.

6. Технология производства отходов переработки животного сырья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agro-archive.ru/ekspertiza-kormov.html.

7. Файвишевский, М. Л. Отходы – в доходы / М. Л. Файвишевский // Агробизнес – Россия. – 2009. – № 4. – С. 33–35.

УДК 639.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЯДНЫХ РЫБ В ПРУДАХ ПИТОМНИКА «БИОСФЕРА» В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

БАБИКОВА В.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преподаватель ХАМИТОВА М.Ф.

Степень трофии рыбоводных прудов является одним их основных факторов, определяющих эффективность их рыбохозяйственного использования, и измеряется количеством первичной продукции. Основным источником первичной продукции водоемов можно назвать одноклеточные водоросли, или фитопланктон [4]. При этом наиболее эффективное использование продукции происходит при реализации самых коротких пищевых цепей: фитопланктон → рыба или фитопланктон → зоопланктон → рыба. Соответственно, при выращивании хищных видов рыб рыбопродукция с единицы площади минимальна, а растительноядных – максимальна. С этих позиций перед нами была поставлена задача по исследованию фитопланктона прудов питомника «Биосфера» и определению их рыбопродуктивности для выращивания растительноядных рыб.

Поскольку ставилась задача определения рациональной плотности посадки рыб исходя из продуктивности водоема, были проведены исследования кормовой базы, изучен состав выращиваемой рыбы и сделаны выводы о формировании желательного состава рыбного населения.

Исследование фитопланктона проводилось в 2017 г. в двух искусственных прудах питомника, на которых пробы фитопланктона отбирались с 6 станций. Средняя глубина первого водоема составляет 1,8 м, второго –

1,45 м. Подпитка водоемов производится за счет грунтовых вод и вод реки Брысса. В летние месяцы температура в прибрежной части прудов варьировала от 24,7 до 26,6 °С, в центральной части – от 24,7 до 27,4 °С. Прозрачность воды в первом пруду составляла около 0,4 м, во втором – 0,5 м. Сбор и обработка проб фитопланктона проведены по общепринятым гидробиологическим методикам [7].

В период исследований первый водоем был заселен карповыми видами рыб, в том числе растительноядными (белый и пестрый толстолобики, белый амур), плотность посадки составляла около 2 000 кг/га. Во второй водоем в начале сезона были выпущены сеголетки карпа, плотность посадки рыбы в период отбора проб – 120 кг/га. Питание представителей водоемов питомника «Биосфера» разнообразно, карповые виды рыб питаются бентосом, белый и пестрый толстолобики предпочитают фито- и зоопланктон, белый амур – высшую водную растительность.

В пробах фитопланктона первого пруда было выявлено 17 таксонов водорослей рангом ниже рода из пяти отделов: среди них к зеленым относились 7 таксонов, эвгленовым – 5, синезеленым – 2, диатомовым – 1 и золотистым – 2. Во втором водоеме было выявлено 22 таксона водорослей рангом ниже рода из пяти отделов: зеленые (11 таксонов), эвгленовые (6 таксонов), сине-зеленые (2 таксона) и диатомовые (2 таксона), золотистые водоросли (1 таксон) [11]. Численность фитопланктона в первом водоеме изменялась от 0,29 тыс. кл./л в центральной части водоема до 11,149 тыс. кл./л в прибрежной части, во втором – от 0,16 до 1,075 тыс. кл./л. Общая биомасса в первом водоеме колебалась от 1,1 до 8,5 мг/л, во втором – от 9,8 до 14,2 мг/л. По численности среди видов в исследованных водоемах доминировали сине-зеленые, по биомассе – эвгленовые водоросли.

Индекс видового разнообразия Шеннона характеризовал участки двух водоемов как «умеренно загрязненные». В первом водоеме индекс Шеннона изменялся от 1,05 до 1,44, а во втором – 1,63. Индекс сапробности колебался в первом водоеме от 0,8 до 1,4, во втором – от 1,26 до 1,36, что соответствует олигосапробной зоне. Трофический статус исследуемых водоемов определялся как мезотрофный (в первом) и эвтрофный (во втором).

Предпочтительность в питании облигатного фитопланктофага – белого толстолобика – определяется, в первую очередь, размером [2, 3, 9] и систематической принадлежностью водорослей. Отмечено, что наиболее

интенсивно выедаются представители протококковых, эвгленовых, диатомовых водорослей [8]. При этом сине-зеленые водоросли, как правило, избегаются белым толстолобиком из-за их низкой пищевой ценности или даже токсичности. Ряд авторов [6, 10] считает, что если даже белый толстолобик и захватывает клетки сине-зеленых водорослей, то последние слабо разрушаются в кишечнике, а разрушенные клетки плохо усваиваются. Другие авторы [9] считают цианобактерии не менее ценной пищей, чем другие отделы фитопланктона.

Видовой состав и биомасса в первом водоеме значительно отличаются от второго, что свидетельствует о выедании фитопланктона белым толстолобиком, также немаловажным фактором считаются гидрологические характеристики водоемов, а именно температура воды и глубина.

Отношение продукции к среднесезонной биомассе (P/B коэффициент) для фитопланктона рек и озер варьирует от 100 до 140. При полученных значениях биомассы вегетационная продукция фитопланктона в первом и втором водоемах составляет соответственно 14200 и 476 000 кг/га.

Расчет рыбопродукции рыб фитопланктофагов проводился по методике [1], в соответствии с которой потенциальная рыбопродукция во втором водоеме может составлять 713 кг (285 кг/га), в первом может быть увеличена на 86 кг. В рыбоводных прудах среднесезонный прирост двухлетков белого толстолобика составляет 300 г [5]. Для получения прогнозируемых значений рыбопродукции в первый водоем необходимо выпустить 285 годовиков белого толстолобика, во второй – 2376 годовиков, а затем и выловить их в конце вегетационного сезона.

Литература

1. Бессонов, Н. М. Рыбохозяйственная гидрохимия / Н. М. Бессонов, Ю. А. Привезенцев. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 159.

2. Вечканов, В. С. Питание, рост и энергетический баланс белого толстолобика в условиях прудового выращивания: автореф. дис. … / В. С. Вечканов. – 1976. – 20 с.

3. Данченко, А. Д. Поликультура растительноядных рыб как метод интенсификации прудового рыбоводства: автореф. дис. … / А. Д. Данченко. – 1974. – 34 с.

4. Калайда, М. Л. Гидробиология: учебное пособие / М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб.: Проспект Науки, 2013. – 192 с.

5. Калайда, М. Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учебное пособие / М. Л. Калайда. – СПб. : Проспект Науки, 2014. – 224 с.

6. Маляревская, А. Я. Влияние сине-зеленых водорослей на обмен веществ у рыб / А. Я. Маляревская. – Киев, 1973. – 312 с.

7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.

8. Омаров, М. О. Питание белого толстолобика в водоемах Дагестана / М. О. Омаров, Л. П. Лазарева // Гидробиологический журнал. – 1974. – Т. 10. – № 4. – С. 100–104.

9. Пушкарь, В. Я. Синезеленые водоросли в питании растительноядных рыб / В. Я. Пушкарь, В. М. Стыгар // Актуальные проблемы биологии синезеленых водорослей. – 1974. – С. 119–126.

10. «Цветение» воды как результат нарушения процессов регулирования в гидробиоценозах / А. В. Топачевский // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. – 1975. – С. 41–49.

11. Barieva F. F. To the study of phytoplankton of urban ponds in the south-east of the Republic of Tatarstan in Russia / F. F. Barieva, M. F. Khamitova, L. V. Babikova // Proceedings of International scientific conference «Conserving soils and water». – 2017. – P. 32–33.

УДК 574.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В РЫБНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

ВАСИЛЬЕВА В.С., ГАРАШКО Е.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОРДЕЕВА М.Э.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – это показатель степени окисленности или восстановленности переменно-валентных компонентов в подземных водах (S, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Mo, As). Данный показатель измеряется в вольтах или милливольтах (mV).

Другими словами: в любом живом организме основными процессами, обеспечивающими его функционирование, являются окислительно-восстановительные химические реакции, в которых одни вещества отдают электроны, заряжаясь положительно, – окисляются, другие их присоединяют, заряжаясь отрицательно, – восстанавливаются. Энергия, которая

выделяется в ходе этих реакций, расходуется на поддержание жизнедеятельности организма, а между этими веществами возникает определенная разность электрических потенциалов, которая называется окислительно-восстановительным потенциалом или ОВП [1].

ОВП организма здорового человека обычно находится в пределах от – 90 до –150 милливольт (мВ). Это означает, что внутренняя среда человеческого организма всегда находится в восстановленном состоянии, т. е. наш организм состоит из клеток, в которых вода присутствует только с отрицательным ОВП [2].

ОВП питьевой воды изменяется, по литературным источникам, от 150 до 350 мВ [2]. Таким образом, для того, чтобы организм мог использовать в обменных процессах питьевую воду с положительным значением ОВП, которую мы потребляем, он вынужден тратить дополнительную энергию на выравнивание этого показателя, потому что, когда обычная питьевая вода с положительным потенциалом проникает в ткани организма, она отнимает электроны от клеток, которые состоят из воды на 70 – 80 %. В результате этого биологические структуры организма подвергаются окислительному разрушению. Так организм изнашивается, стареет, жизненно важные органы постепенно снижают выполнение своих функций.

В воде из природных источников значение ОВП колеблется от –400 до +700 мВ. Исследования, проведенные сотрудниками кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ», показали, что диапазон изменения ОВП в природной воде базируется от – 230 до + 30 мВ [3].

Hendrix Genetics Company после долголетних исследований ОВП опубликовала статью, в которой приводятся данные о важности измерения ОВП воды [4]. Они заключили, что измерение ОВП позволяет определить эффективность дезинфекции воды, независимо от вида применяемого оксиданта или смеси дезинфицирующих соединений и других факторов. Результат измерения информирует о том, действительно ли эффективен процесс дезинфекции.

Нами на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» в ходе проведенных экспериментов была установлена связь ОВП и pH и построена линейная зависимость, которая позволяет определить ОВП исходя из значений pH. Проведенный обзор литературных источников по выращиванию рыб (карповых и осетровых) выявил оптимальные условия для их содержания. Исходя из этого, нами были выделены и оптимальные значения ОВП для существования карповых и осетровых видов рыб.

Литература

1. Токаренко, О. Г. Химический состав и свойство природных вод / О. Г. Токаренко. – СПб., 2016. – 57 с.

2. Аристова, Н. А. Физико-химические методы получения экологически чистой активированной питьевой воды / Н. А. Аристова. – Нижний Тагил: НТИ (ф) УрФУ, 2011. – 76 с.

3. Калайда, М. Л. Окислительно-восстановительный потенциал как показатель качества естественных и искусственных водоемов в структуре рыбохозяйственного мониторинга / М. Л. Каалйда, М. Э. Гордеева // Роль образования и науки в развитии Российского общества [Электронный ресурс]. – М.: Импульс, 2017. – 329 с.

4. URL: www.hybridturkeys.com.

УДК 574.55

ЗАБОЛЕВАНИЯ ОСЕТРОВЫХ ПРИ ВЫРЩИВАНИИ ИХ В УСТАНОВКАХ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОДООБОРОТА

ГАЙНЕТДИНОВА А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОВОРКОВА Л.К.

Человек уже давно, а в последний период все больше, сталкивается с активным его воздействием на водные ресурсы. С одной стороны, актуальность вопросов санитарного состояния вод, а с другой – решение проблем развития рыбного хозяйства. В мировой практике в последний период ведущее значение приобретает метод аквакультуры, объединяющий различные направления воспроизводства гидробионтов [1].

В современных условиях продовольственная безопасность человечества будет обеспечена тогда, когда в основе будет лежать принцип устойчивого и допустимого развития мирового рыболовства, при сбалансированном использовании таких слагаемых, как рыболовство, аквакультура и экология. Осознавая значимость всего этого, все рыболовные державы мира признают, что человечеству необходимо перейти от рыболовства к рыбоводству.

В условиях, когда уловы океанической рыбы и других морепродуктов сокращаются, а рыбные запасы внутренних водоемов находятся в критическом состоянии и поддерживаются в основном путем искусственного воспроизводства, единственным надежным источником увеличения объемов пищевой

рыбопродукции остается аквакультура. Предметом аквакультуры является технология производства рыб, беспозвоночных и водорослей в морской и пресной воде [3].

За последние десятилетия индустриальное рыбоводство развивается наиболее высокими темпами. Его можно охарактеризовать как раздел рыбоводства с максимально высоким уровнем интенсификации, механизации и автоматизации процесса выращивания рыбы.

Особую роль в производстве мировой рыбной продукции играют осетровые, в связи с особенностями биологии, сложным жизненным циклом и высокой пищевой ценностью, которые в индустриальной аквакультуре занимают одно из ведущих мест [2].

Восстановление запасов осетровых рыб – одна из важнейших проблем современного искусственного воспроизводства, которую можно решить при использовании индустриальных методов выращивания жизнеспособного посадочного материала. В последнее время широко распространено выращивание осетровых рыб с высокой плотностью посадки в установках замкнутого водообеспечения (УЗВ). Возможность регулирования параметров водной среды, грамотное управление системой и поддержание здоровья рыб с учетом санитарно-ветеринарных мероприятий в условиях УЗВ позволяют вырастить не только жизнеспособную молодь, но и получать качественную товарную продукцию.

Стерлядь – ценная промысловая рыба. Она населяет реки бассейнов Каспийского, Азовского, Черного и Балтийского морей. Стерлядь – пресноводная рыба, постоянно живущая в Волге и ее притоках, Оби, Иртыше. Изредка стерлядь встречается и у западного побережья Каспия, откуда случайные экземпляры заходят в Куру.

Осетровые, как и другие виды рыб, могут быть подвержены различным заболеваниям. Болезни рыб являются причиной массовой их гибели в водоемах, могут резко снижать уровень рыбных запасов и причинять значительный экономический ущерб [4]. Выращивание осетровых в УЗВ не спасает их от возможности заболеть какими-нибудь болезнями.

У осетровых рыб наблюдаются инфекционные, инвазионные и незаразные болезни. Из 92 видов паразитов, отмеченных у осетровых рыб юга России, большинство встречается у широкого круга рыб.

В УЗВ заболевания чаще всего вызывают простейшие, моногенеи, ракообразные. Цикл их развития прямой. Заражение может происходить от рыбы к рыбе, через воду, рыбоводное оборудование. При оптимальных

условиях окружающей среды и стабильном состоянии хозяина регистрируют единичное число паразитов. У ослабленных особей инвазия может нарастать в считанные дни. Диагноз ставят на основании клинических признаков, эпизоотологических данных и непосредственного обнаружения большого количества паразитов. Профилактические мероприятия включают оптимизацию условий выращивания и недопущение контакта с больными рыбами.

Профилактические мероприятия состоят в полном контроле всех показателей работы УЗВ, таких как температура, кислород, фильтрация, качество кормов и др.

При выращивании осетровых рыб в системе УЗВ необходим контроль качества воды. Они особенно чувствительны к содержанию кислорода, большое значение имеют окисляемость воды, pH и другие факторы. В последние годы в системах УЗВ активно используют искусственное насыщение воды жидким кислородом, но при этом необходимо контролировать её насыщение воды газами. Перенасыщение ими воды может привести к развитию газопузырьковой болезни.

Фактором передачи возбудителей болезней может служить корм, а недостаток специфических элементов в нем увеличивает восприимчивость рыб к инфекциям.

При алиментарных болезнях отмечают вздутие брюшка вследствие переполнения кишечника непереваренными пищевыми компонентами. Печень и селезенка увеличены, бледной окраски, почки кровенаполнены. Регистрируют васкулярно-гидропическую дистрофию печени. У рыб развивается анемия, лимфопения, необратимые изменения в клетках белой и красной крови.

Правильное использование лекарственных препаратов и дезинфицирующих средств – составная часть успешного выращивания рыб в УЗВ. При большинстве инфекций и инвазий рыб можно лечить с помощью антибиотиков, органических красителей, медикаментов или дезинфектантов. Необходимо отметить, что в УЗВ нельзя проводить лечебные ванны с антибиотиками, так как последние могут сильно повредить биофильтр.

При бактериальных болезнях проводят тест на чувствительность к антибиотикам, после чего лекарственный препарат дают рыбе с кормом.

Для профилактики и лечения рыб при бактериальных болезнях в УЗВ можно использовать пробиотики, не оказывающие негативного воздействия на биофильтр.

Литература

1. Калайда, М. Л. История и перспективы развития рыбного хозяйства Татарстана / М. Л. Калайда. – Казань: Матбугат йорты, 2001. – 95 с.

2. Канидьев, А. Н. Индустриальное рыбоводство: курс лекций для студентов / А. Н. Канидьев. – М.: МГЗИПП, 2001. – 390 с.

3. Козлов, В. И. Аквакультура / В. И. Козлов, А. Л. Никифоров-Никишин, А. Л. Бородин. – М.: Колос, 2006. – 445 с.

4. Щербина, А. К. Болезни рыб / А. К. Щербина. – Киев: «Урожай», 1973. – 404 с.

УДК 574.4/5

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ВОДОЕМА ПАРКОВОЙ ЗОНЫ «ОЗЕРО ХАРОВОЕ» В Г. КАЗАНИ ПО ИНДЕКСУ *У*

ГАТАУЛЛИНА Р.З., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преподаватель ХАМИТОВА М.Ф.

Малые водоемы, расположенные на территории крупных городов, испытывают на себе значительное антропогенное воздействие. С этих позиций особый интерес представляет изучение гидробиоценоза водоема в экопарке «Озеро Харовое».

Экопарк «Озеро Харовое» располагается в Кировском районе г. Казани. Материалом для данной работы послужили пробы гидробионтов, отобранные в течение вегетационного сезона 2016 г. (с апреля по сентябрь). Обследование проводилось на 10 станциях: 6 станций – в прибрежной зоне на глубине 0,3–1,6 м, 4 станции – в центральной части водоема на глубине 2–5,2 м.

Значительная часть дна водоема в течение года покрыта высшей водной растительностью, преимущественно роголистниками. Грунты в прибрежной части водоема представлены плотным илом с примесью песка, в центральной части – черными илами с запахом сероводорода.

В результате проведенного исследования в структуре макрозообентоса были встречены 50 видов и форм зообентонтов: 10 – моллюсков, 23 – личинок хирономид и 17 прочих видов и форм, среди которых – водяные ослики, клещи, клопы-гребляки, личинки стрекоз, поденок, львинок и ручейников. Основная масса встреченных видов приходилась на литоральную зону с глубиной не более 1 м – в прибрежной части водоема была обнаружена 41 разновидность форм зообентонтов, в центральной (на глубинах более 1,5 м) – 9.

Видовое (таксономическое) разнообразие того или иного сообщества является показателем его экологического состояния. Для оценки видового разнообразия сообществ нами был рассчитан индекс Шеннона (H) [5]. На прибрежных станциях значения индекса варьировали от 1 до 3,24, что характеризует воды как умеренно загрязненные и чистые; в глубоководной зоне водоема значения индекса не превышали 1, что соответствует грязным водам. В целом водоем оценивается как умеренно загрязненный.

Для определения качества воды по структурным характеристикам зообентоса (донных организмов) используют биотический индекс Вудивисса [1]. Индекс учитывает общее разнообразие населяющих водоем донных беспозвоночных и наличие в нем организмов, принадлежащих к индикаторным группам. Рассчитанные значения индекса в прибрежной зоне варьировали от 6 до 7, что соответствует незначительному загрязнению водоема, в глубоководной зоне индекс составлял 5 – средняя степень загрязнения.

Таким образом, результаты индексов Шеннона и Вудивисса почти одинаковы и характеризуют водоем как умеренно загрязненный.

Для оценки сапробности водоема рассчитали одноименный индекс по Пантле и Букку [4]. В прибрежной зоне водоема значения сапробности варьировали от 1,9 до 2,8, что в среднем характеризует водоем как β-α-мезосапробный; значения индекса в глубоководной части, соответственно, 2–2,5 – β-мезосапробный.

В качестве показателя антропогенного загрязнения водоема органическими веществами возможно использование индекса *Y* [2, 3]. Он позволяет отразить процесс участия бентосных форм в восстановлении качества вод. Исходя из полученных значений индекса *Y*, которые составили на разных станциях от 32 до 100, водоем характеризуется стабильным донным гидробиоценозом с незначительным уровнем органического загрязнения.

Литература

1. Вудивисс, Ф. Биотический индекс реки Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование / Ф. Вудивисс // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: тр. совет.-англ. семинара. – Л.: Гидро-метеоиздат. – 1977. – С. 132–161.

2. Калайда, М. Л. Индикативные показатели эвтрофирования как элемент мониторинга водных экосистем / М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 49. – № 3. – С. 156–162.

3. Хамитова, М. Ф. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.02.10 / Хамитова Мадина Фархадовна. – Казань.: МедДок, 2017. – 24 с.

4. Pantle, R. Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse / R. Pantle, H. Buck // Gas- und Wasserfach, 1955. – Vol. 96. – P. 604–618.

5. Wilhm, J. L. Biological parametris for water quality enteric / J. L. Wilhm, T. C. Dorris // Biosciense. –1968. – Vol. 18. – № 6. – P. 477–480.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАМКНУТЫЕ ВОДОЕМЫ

ЗАНОЗЕЕВ Р.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОРДЕЕВА М.Э.

В настоящее время основная часть всех водоемов Республики Татарстан испытывает значительное антропогенное воздействие. Одно из такого воздействия – это тепловое. В г. Казань располагается система озер Кабан, в которой озеро Средний Кабан является водоемом-охладителем Казанской ТЭЦ-1.

Общая площадь акватории озера Средний Кабан с учетом сбросного канала Казанской ТЭЦ-1 составляет 131,8 га. Оно является замкнутым водоемом. Подогретые сточные воды сбрасываются в сбросной канал, через который поступают в водоем. Длина сбросного канала 380 м.

Проведенный литературный обзор показал: при моделировании теплового воздействия на водоем берется во внимание, что теплофизические свойства жидкости не зависят от температуры. Жидкость считается теплопроводной, вязкой, ньютоновской. В таком случае целесообразно применение уравнений Навье-Стокса – это система дифференциальных уравнений, которая описывает движение вязкой ньютоновской жидкости либо газа [1]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v_i}{\partial t} + \upsilon_k \dfrac{\partial v_i}{\partial x_k} = \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \dfrac{\partial}{\partial x_k}\left(\dfrac{\partial v_i}{\partial x_k} + \dfrac{\partial v_k}{\partial x_i}\right) \\ \dfrac{\partial p}{\partial t} + \nabla\left(\rho\bar{\upsilon}\right) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Однако озеро Средний Кабан, как и все водоемы, имеет термическую стратификацию. В связи с этим стратифицированное течение в водоеме-охладителе описывается уравнениями Навье-Стокса в приближении Буссинеска [2]. В таком случае режим течения рассматривается как ламинарный, границы полости (исключение составляют участки ввода и вывода жидкости) принимаются непроницаемыми для жидкости.

Проведен обзор прикладных пакетов для решения уравнения Навье-Стокса в приближении Буссинеска. Выявлено, что возможно решение с помощью таких прикладных программ, как MatLab, Mathematica, Octave, FlowVision. Однако это позволит только получить решение, или фазовые портреты, но не проиллюстрировать изменения температуры в зоне действия подогретых сточных вод.

Среди прикладных пакетов, которые кроме решения данного уравнения позволяют создавать 3D модели водоема с результатами моделирования, выбрана американская экологическая программа Cormix, имеющая расчетную демоверсию на 15 дней, что позволяет студентам выполнять интересные практические выпускные квалификационные работы.

Литература

1. Справочник по физике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// ru.solverbook.com/spravochnik/uravneniya-po-fizike/uravneniya-nave-stoksa/

2. Issakhov, A. Mathematical Modelling of the In_uence of Thermal Power Plant on the Aquatic Environment with Di_erent Meteorological Condition by Using Parallel Technologies / A. Issakhov // Power, Control and Optimization. Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 239. – P. 165–179.

УДК 658.382.3:006.354

ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ФОРМ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ МЕТОДОМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ИНТЕРКАЛЯЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ КОРМОВЫХ ДОБАВОК В РЫБОВОДСТВЕ

ИДРИСОВА И.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. ЛАПИН А.А.

Одним из важнейших источников пищи для человека являются водные биоресурсы. Сокращение объема их вылова и постоянное увеличение спроса на них делает искусственное выращивание гидробионтов стратегически важным направлением агропромышленного комплекса страны.

Несмотря на то что ассортимент на ветеринарном рынке белковых, витаминных и пробиотических добавок зарубежного производства, имеющих высокую стоимость и узкий спектр эффективности, широк, остается актуальной разработка комплексных функциональных кормовых добавок с использованием различных природных и синтетических веществ.

В настоящее время глобальное развитие аквакультуры невозможно без применения полнорационных комбикормов, сбалансированность и высокая ценность которых определяются в основном качеством составляющих их компонентов. В соответствии с программой «Развитие товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) в Российской Федерации на 2015–2020 гг.» планируется увеличение доли рыбной продукции до 315 тыс. тонн, что через несколько лет приведет к некоторому увеличению потребности в качественных кормовых добавках.

Главнейшей задачей, которая стоит перед рыбоводной наукой и практикой, является защита здоровья гидробионтов от заболеваний различной этиологии. Опыт интенсивного разведения различных гидробионтов доказывает то, что достаточно большой вред наносят болезни незаразного характера, которые усугубляются ещё и нарушениями обмена веществ [2]. Чтобы повысить сопротивляемость рыб к различным заболеваниям, целесообразно использовать в качестве кормовых добавок витамин С – аскорбиновую кислоту (АСК).

АСК является одним из наиболее распространенных в природе витаминов, синтезируемых растениями и большинством животных [1].

Рыбы обладают исключительной способностью синтезировать АСК. В организме рыб глюкоза под действием специальных ферментов (гулонолактон-оксидазы) расщепляется с образованием АСК, но активность этих ферментов слабая. Например, при недостатке в рационе личинок рыб АСК появляются признаки С-авитаминоза, которые свидетельствует о целесообразности дополнительного поступления этого витамина с кормом [7].

При применении гранулированных рыбных кормов необходимо учитывать, что АСК легко окисляется под действием перекисей, образующихся в результате хранения корма [5], из-за чего количество АСК, добавленной в корм, значительно отличается от количества непосредственно перед употреблением рыбой. АСК в кормах уже при измельчении кормового сырья, пропускании пара через кормовую смесь и при дроблении гранул частично разлагается. Поэтому разработка стабильных форм АСК является актуальной проблемой, особенно при кормлении осетровых рыб.

Цель нашего исследования заключалась в получении высокоэффективных и стабильных форм аскорбиновой кислоты для использования в качестве кормовых добавок в рыбоводстве.

В кормах для выращивания рыб используют стабильные формы АСК, чаще всего продукты взаимодействия с полифосфатом аммония («Cuxavit Stay-C» (куксавит, фосфатная форма АСК, аскорбилполифосфат)).

Для получения стабильных форм АСК использовались:

– кислота аскорбиновая (Acidum ascorbinicum), ООО «Тульская фармацевтическая фабрика», г. Тула;

– полифосфат аммония, химическая формула продукта: $(NH_4PO_3)_n$, применяется в качестве ингредиента в сельском хозяйстве в комплексе процедур по производству растворимых сухих удобрений, а также агента для биологической очистки сточных вод [4];

– хитозан низкомолекулярный пищевой водорастворимый [6].

Хитозан низкомолекулярный пищевой водорастворимый получают из высокомолекулярного хитозана путем химического или ферментативного гидролиза. Выпускается он в виде порошка белого или кремового цвета, в котором содержание основного вещества не менее 90 %. По сравнению с исходным, хитозан низкомолекулярный пищевой водорастворимый проявляет более высокую антибактериальную, фунгицидную и противовирусную активности, обладает радиопротекторным действием, может быть использован в качестве переносчика лекарственных препаратов различной природы и т.д. Применяется в сельском хозяйстве, (экологически чистый биопестицид АгроХит), пищевой промышленности (как структурообразователь, консервант), медицине (как радиопротектор, компонент лечебных повязок и носитель лекарств), как компонент биологически активных добавок, повышающий иммунитет и др. [6].

Образцы были изготовлены методом механохимической интеркаляции в ступке механической большой модернизированной (СМБМ) [3].

Таким образом, впервые экспериментально методом механохимической интеркаляции нами получены стабильные формы аскорбиновой кислоты с использованием хитозана для применения в качестве кормовых добавок в рыбоводстве.

Работа выполнена по договору о научном сотрудничестве между ФГБОУ ВО «КГЭУ» и ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова».

Литература

1. Морозкина, Т. С. Витамины / Т. С. Морозкина, А. Г. Моисейнок. – Минск: Асар, 2002. – 112 с.

2. Панин, А. Н. Пробиотики в системе рационального кормления животных / А. Н. Панин, Н. И. Малик // Пробиотики, пребиотики, симбиотики, и функциональные продукты питания. – СПб., 2007. – С. 59.

3. Копылова, А. А. Функционализация медьуглеродного нанокомпозита атомами кремния / А. А. Копылова, Е. А. Зайцева, В. И. Кодолов // От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии: тезисы докл. V Междунар. конф. / под общ. ред. проф. В. И. Кодолова. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 93–95.

4. Полифосфат аммония [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chem-portal.ru/flame-retardants/polifosfat-ammoniya. – (Дата обращения 14.01.2018).

5. Ромодин, Л. А. Индукция окислительного стресса пероксидом водорода у Brachidanio rerio / Л. А. Ромодин, Е. Н. Зарудная // Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины: матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. / Южный федеральный университет. – Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2015. – С. 270–271.

6. Новые аспекты в изучении биологической активности хитозана и его производных / А. Я. Самуйленко [и др.] // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. – М.: РАЕН, 2007. – Вып. 17. – С. 224–228.

7. Halver, J. Efficacy of L-ascorbyl-2-sulfate as vitamin C source for rainbow trout / J. Halver, S. Felton, A. Palmisano // Fish Nutrition in Practic, Biarritz (France). Ed. INRA. – Paris, 1993. – P. 137–147.

УДК 639.3

ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНИ МОЛОДИ ФОРЕЛИ В УСЛОВИЯХ УЗВ

ИСМАГИЛОВ Ф.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Форель – реофильная, требовательная к температуре, содержанию растворенного в воде кислорода и количеству взвешенных веществ рыба. Согласно литературным данным, оптимальная температура для развития и роста радужной форели составляет 14–18 °С, а максимальные ее значения

не должны превышать 20 °С, pH среды должна колебаться в пределах значений 7–8, а содержание растворенного в воде кислорода составлять не менее 9 мг/л [2, 3].

Стальноголовый лосось (как порода радужной форели) в 1993 году внесен в Государственный реестр РФ селекционных достижений, допущенных к использованию [4]. Он имеет собственные морфологические отличия: больше жаберных лучей, короче грудные, брюшные и хвостовые плавники, короче и ниже голова, более сжатое с боков тело, чем у форели. Окраска спины имеет металлический темно-голубой отлив, благодаря которому рыба и получила свое название, бока серебристые, на теле пятна, радужная полоса видна только в период половой зрелости [3].

Установка замкнутого водоснабжения (УЗВ) представляет собой замкнутую систему для содержания лососевых рыб, которая создает оптимальный микроклимат в бассейнах, чтобы вырастить сеголеток товарного вида или племенных особей. Принцип заключается в круговом движении воды между элементами системы, работа каждого из них основывается на поддержании параметров, необходимых для жизнеобеспечения водных организмов в заданных пределах. В зависимости от размера рыбы уровень воды в бассейне должен составлять: при массе 0,3–10 г – 0,1–0,2 м, при массе 10–50 г – 0,3 м, при массе 50–100 г – 0,4–0,5 м, при массе 100–500 г – 0,5–0,8 м, более 500 г – до 1,5 м. При содержании форели в установке можно использовать: пресную воду температурой от 12 до 19 °С, с содержанием кислорода 9 мг/л и pH 7,2–7,4; количество растворенного в воде кислорода до 70–78 % насыщения; соленую воду температурой от 8 до 25 °С, pH – от 7,4 до 8,3, насыщение воды кислородом составляет 89–97 % [1].

Исследования проводились на базе кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» в ФГБОУ ВО «КГЭУ», на малой установке замкнутого водоснабжения, в период с 3.11.2017 по 13.01.2018. Молодь содержалась в емкости объемом 800 литров. Начальная посадка рыбы составляла 86 шт., при среднештучной массе 53,5 г, конечная – 71 шт., при среднештучной массе 71 г. Основные параметры условий, в которых содержалась молодь, варьировали в следующих диапазонах: pH от 5,07 до 7,06; кислород от 4,89 до 9,68 мг/л; температура от 18,4 до 22,7 °С.

За период исследований была отмечена гибель молоди. Сразу после пересадки в емкость в течение шести дней (ежедневно) погибало по одной особи массой от 35,7 до 72,7 г (среднештучная масса 50,7 г). В течение следующих 65 суток у ряда погибших особей отмечались механические

травмы, преимущественно на голове. Форель является активным пловцом, довольно пуглива, резко реагирует на внешние раздражители, и в моменты кормления особи быстро перемещаются по бассейну, активно забирая корм, выпрыгивают над поверхностью воды и часто бьются о стенки емкости. Гибель особей вследствие механических повреждений отмечалась в среднем раз в 13 дней, масса погибших сильно отличалась и варьировала от 43,7 до 113,0 г (среднештучная масса 69,8 г).

Таким образом, при выращивании форели надо учитывать смертность, связанную с механическими повреждениями в результате реакции на внешние условия.

Литература

1. Выращивание форели в УЗВ: условия для содержания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://obiznese.populjarno.com/photo/ razvedenie_ryby_i rakov /forel v_domashnem_prudu/vyrashhivanie_foreli_v_uzv/5-0-28. – (Дата обращения: 06.01.2018).

2. Калайда, М. Л. Качество вод как важная компонента развития форелеводческих фермерских хозяйств в поволжском регионе / М. Л. Калайда, Д. С. Дементьев // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 49. – № 1. – С. 145–152.

3. Козлов, В. И. Аквакультура / В. И. Козлов, А. Л. Никифоров-Никишин, А. Л. Бородин. – М.: МГУТУ, 2004. – 433 с.

4. Лосось Стальноголовый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://reestr. gossort.com/reestr/breed/9357434. – (Дата обращения: 06.01.2018).

УДК 639.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В КОРМАХ ОСЕТРОВЫХ РЫБ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «ВИНИВЕТ»

КАЛАЙДА А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Современный корм для ценных пород рыб – это высокотехнологичный многокомпонентный продукт. В его состав кроме базовых компонентов, необходимых для поддержания энергетического баланса и прироста массы рыбы, могут входить и много других веществ, среди которых витамины, микроэлементы, иммуностимулирующие и фитотерапевтические вещества, ароматизаторы, антиокислители. Эти добавки, несмотря на низкие

концентрации в составе корма, выполняют целый ряд задач: ускоряют прирост массы, снижают риск заболеваемости, увеличивают срок хранения корма и его поедаемость.

Исследования использования кормовой добавки «Винивет» применительно к птицеводству доказали её высокую эффективность. Так опыты показали, что применение данной добавки позволяет увеличить среднесуточный прирост, продуктивность кур, повышает качество мяса и яйца, снижает их смертность [1]. Предварительно проводившиеся эксперименты показали безвредность кормовой добавки в опытах на крысах и курах [2], а также её влияние на рост крыс [3]. Данные исследования продемонстрировали способность добавки благотворно сказываться на ростовых и репродуктивных качествах животных при пименении в концентрациях 0,5–3 % от массы корма.

Применительно к использованию «Винивета» как добавки для кормов осетровых рыб нами было проведено исследование на базе экспериментальной установки с замкнутым циклом водооборота (УЗВ) на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Установка включает в себя рыбоводные емкости общим объемом 2300 литров и блок водоподготовки, состоящий из механического фильтра с мелкоячеистой загрузкой, биологического фильтра с тонущей загрузкой, УФ-фильтра, который обеззараживает воду постоянно. Рабочий объем заполнения системы составляет 1700 литров. Скорость водооборота составляет 240 л/час. Эксперимент проводился в специальных емкостях, входящих в состав УЗВ, объемом 75 литров каждая.

Объект исследования – молодь стерляди *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) массой от 2,9 до 7,7 г. Двадцать особей были разделены на 2 группы, примерно равной массы. Первой группе в корм было добавлено 5 % «Винивета», вторая являлась контрольной. В качестве пищи для контрольной группы и основы смеси для исследований использовался корм марки «Advance» для молоди осетровых рыб производства компании «Coppens». Данный корм содержит в себе 56 % белка, 15 % жира, 0,3 % клетчатки, 1,85 % фосфора. Кроме того, в корме присутствует витаминная добавка, содержащая витамины А в количестве 14000 у.е./кг, D – 1300 у.е./кг, Е – 280 мг/кг, С – 350 мг/кг [4].

За период исследований физические характеристики воды изменялись следующим образом: температура в диапазоне 23,2–23,6 °С; содержание кислорода – 4,15–6,2 мг/л; pH – 6,012–6,843; окислительно-восстановительный потенциал – 41,1–51,2 мВ.

Средняя масса особи в контрольной группе до эксперимента составляла 4,46 г, в экспериментальной – 4,89 г, после эксперимента – 7,09 г и 8,25 г соответственно. Среднесуточный прирост составлял: 0,26 г, или 5,8 % первоначальной массы тела для особей контрольной группы, 0,34 г, или 6,9 % первоначальной массы тела для особей из исследуемой группы. Кормовой коэффициент по результатам эксперимента также существенно различался – для корма без добавления «Винивета» он составил 0,94, тогда как с добавлением – 0,77.

Литература

1. Влияние «Винивет» на продуктивность и качество продукции птицеводства / А. М. Алимов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – Казань, 2012. – С. 245–252.

2. Определение безвредности и эффективности препарата «Винивет» в качестве кормовой добавки в птицеводстве / А. М. Алимов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – Казань, 2012. – С. 3–10.

3. Изучение состава кормовой добавки «Винивет» и ее влияния на энергию роста / Л. Т. Ахметова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-1. – С. 23–26.

4. Каталог кормов на официальном сайте компании Coppens [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.coppens.com/ru/feed-programs/industrial/sturgeon/494632-advance4946-48. – (Дата обращения: 05.01.2018).

УДК 578.65

АЛИМЕНТАРНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ РЫБ В УСЛОВИЯХ ЗАМКНУТОГО ВОДООБОРОТА

МАТЫЛИЦКАЯ Е.Ю., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОВОРКОВА Л.К.

Согласно концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 года, его целью является достижение устойчивого функционирования рыбохозяйственного комплекса на основе сохранения, воспроизводства и рационального использования водных биологических ресурсов, развития аквакультуры, обеспечивающего удовлетворение внутреннего спроса на рыбную продукцию [2].

Разработка технологий искусственного выращивания гидробионтов позволяет частично сгладить острые моменты в отношениях природы и человека, дав в его распоряжение индустриально созданные продукты питания. Во многих странах мира, таких как Япония, Китай, странах Скандинавии, индустриальное рыбоводство является важнейшим разделом ВВП, который приносит государству немалую прибыль и при этом обеспечивает жителей продуктами питания. В России рыбоводство как отрасль сельского хозяйства обеспечивает лишь 0,3 % ВВП. Выращивание рыбы в замкнутых системах явилось логическим продолжением индустриального рыбоводства в садках и бассейнах [3]. Коммерческое использование – это направление, получившееразвитие в связи с разработкой и выпуском установок германского производства типа «Штелерматик». Поскольку себестоимость выращенной рыбы в УЗВ довольно высока, то ведется выращивание хозяйственно-ценных видов, таких как канальный сом, форель, угорь, осетровые.

Эффективность работы в рыбоводных хозяйствах в значительной степени зависит от их эпизоотического состояния. Болезни рыб являются причиной массовой их гибели в водоемах, могут резко снижать уровень рыбных запасов и причинять значительный экономический ущерб [4].

К сожалению, содержание рыбы в установках с замкнутым циклом водооборота не решает проблемы болезней объектов аквакультуры. В последние годы отмечается тенденция увеличения количества рыбоводных хозяйств, неблагополучных по заразным болезням рыб. Наибольший ущерб наносят бактериальные заболевания, прежде всего, аэромоноз. Применение терапевтических мероприятий в замкнутых системах не дает положительного эффекта ввиду уничтожения полезных микроорганизмов биофильтра и, как следствие, ухудшения качества рециркулируемой воды. Поэтому первостепенное значение в хозяйствах, использующих установки с замкнутым циклом водооборота, приобретает комплекс профилактических и противоэпизоотических действий [6].

Причинами происхождения болезней рыб в УЗВ также могут являться нарушение обмена веществ при неправильном кормлении (алиментарные болезни); воздействие на рыбу неблагоприятных факторов окружающей среды на ранних этапах развития (функциональные болезни), резкие изменения условий внешней среды (дефицит кислорода, загрязнение прудов и пр.); травматизация и т. п. Вследствие чего происходит ослабление и отравление организма, снижение его иммунологической реактивности [5].

В индустриальной аквакультуре, в частности в условиях замкнутого водооборота, с переходом на высокоинтенсивные формы выращивания рыбы (в садках, бассейнах и т.д.) заметный ущерб причиняют алиментарные болезни. Их подразделяют на три группы.

К первой группе относят заболевания, связанные с использованием несбалансированных комбикормов по жировому, белковому, углеводному, минеральному и витаминному составам. Это приводит к потере аппетита, снижению роста рыб, нарушению зрения и анемии. У лососёвых рыб нарушается развитие костной и хрящевой тканей, происходит деформация позвоночника и отмирание лимфоидной ткани. Избыток основных аминокислот или нарушение их соотношения приводят к жировому перерождению печени.

Вторая группа объединяет заболевания, возникающие у рыб в результате употребления недоброкачественных кормов, обсеменённых микроорганизмами (бактериями или грибами), продуктами их жизнедеятельности. Это приводит к развитию патологических процессов и дальнейшей гибели. При нарушении условий хранения кормов или их ингредиентов, особенно содержащих значительное количество жира, происходит их окисление, в результате чего увеличивается число свободных жирных кислот и происходит образование перекисей, которые являются токсичными. В первую очередь, у них поражается печень, где после продолжительной интоксикации обнаруживаются морфологические изменения, отмечается дряблость мышц, нарушение функций кожного и жаберного дыхания и общее нарушение кровообращения.

К третьей группе относят заболевания, вызванные нарушением обмена веществ у рыб в связи с питанием несвойственной пищей, в результате чего наблюдаются их морфо-физиологические характеристики [1].

Потери от гибели рыб весьма значительны и исчисляются многими сотнями тысяч рублей.

Литература

1. Головина, Н. А. Алиментарные болезни культивируемых рыб и разработка методов их коррекции / Н. А. Головина, П. П. Головин, Н. П. Романова. Проблемы ихтиопаразитологии и ихтиопатологии в современных условиях: сб. науч. тр. – СПб., 2001. – Вып. 329. – 134 с.

2. Козлов, В. И. Аквакультура / В. И. Козлов, А. Л. Никифоров, А. Л. Бородин. М.: КолосС, 2006. – 423 с.

3. Концепция развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 2 сентября 2003 г. № 1265-р. – Доступ из справ.-прав. системы «ГАРАНТ». – Режим доступа: http://base.garant.ru/5423839/#ixzz54BIPhJgV).

4. Пономарев, С. В. Индустриальная аквакультура / С. В. Пономарев. – М., 2006. – 312 с.

5. Современное состояние рыбного хозяйства на внутренних водоемах России. –СПб., 2000. – 286 с.

6. Щербина, А. К. Болезни рыб / А. К. Щербина. – Киев: «Урожай», 1973. – 404 с.

7. Ярошевич, К. О. Ассоциативное проявление ботриоцефалеза и аэроманоза в индустриальном рыбоводстве: эпизоотология, меры борьбы: автореф. дис. … канд. ветер. наук / К. О. Ярошевич. – Нижний Новгород, 2003. – 17 с.

УДК 556.541.32:635.9.044:582.572.8:620.3

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛ/УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА СУММАРНУЮ АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ ОБРАЗЦОВ ЛИЛИЙ

МЕРЗЛЯКОВА В.М., УДГУ, г. Ижевск

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. КОРНЕВ В.И.

В настоящее время большой вклад в суммарную антиоксидантную активность (САОА) водных экстрактов растений лилий может внести активированная вода, которая обеспечивает антиоксидантную защиту живого организма. Молекулы воды, у которой структурная формула водородных связей разрыхляется, обретают дополнительные степени свободы, что облегчает усвоение активированной воды клетками живых организмов.

Растения лилии содержат уникальные биологически активные вещества (БАВ) – антиоксиданты, которые используются в медицине, фармацевтической промышленности, однако химический состав их пока еще недостаточно изучен. Но среди декоративных выгоночных луковичных растений лилия занимает одно из ведущих мест при возделывании ее в защищенном грунте. Лилия ценится за декоративность, разнообразие форм и окрасок цветков, а также длительную сохранность при срезке.

Целью наших исследований является влияние металл/углеродных нанокомпозитов на суммарную антиоксидантную активность (САОА) водных экстрактов образцов лилий.

САОА определяли методом кулонометрического титрования в пересчете на стандартный образец рутин через модальное значение (моду). Относительная ошибка определения САОА не превышала 2,17 %. САОА выражали в мг на 1 $дм^3$ водного экстракта образцов лилий, выращенных в защищенном грунте. Работы проводились по договору о сотрудничестве с кафедрой ХиХТ «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» и АО «Ижевский электромеханический завод – Купол» [1–6].

Для более объективной оценки полученных результатов необходимо определить экономическую эффективность применения медь/углеродного нанокомпозита, что отражено в таблице.

Экономическая эффективность применения медьуглеродного нанокомпозита при выращивании лилии

Показатель эффективности	Вариант	
	Вода (к)	0,01 %
Срезано всего, шт./$м^2$	45	45
Среднее количество бутонов на стебле, шт.	4,8	5,9
Средняя цена срезанного растения, руб.	74,35	81,55
Стоимость продукции, руб./$м^2$	3345,75	3669,75
Производственные затраты, руб./$м^2$	2164,8	2283,4
Чистый доход, руб./$м^2$	1180,95	1386,35
Уровень рентабельности, %	54,5	60,7
Себестоимость продукции, руб./кг	48,11	50,74

Применение 0,01 %-ного медь/углеродного нанокомпозита при выращивании лилии оказывает влияние на себестоимость продукции, лишь незначительно удорожая ее, тогда как средняя цена реализации возросла значительно (на 7 рублей) за растение за счет увеличения количества бутонов, что привело к повышению стоимости реализации и, соответственно, прибыли и рентабельности производства [7].

Выводы: впервые изучена суммарная антиоксидантная активность водных экстрактов образцов цветков и листьев лилии, выращенных в защищенном грунте. Применение медь/углеродного нанокомпозита при возделывании лилии приводит к повышению рентабельности производства, что очень важно в рыночных современных отношениях.

Литература

1. Лапин, А. А. Применение металл/углеродных нанокомпозитов при выращивании лилий в защищенном грунте / А. А. Лапин [и др.] / Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. – М.: РАЕН, 2016. – Вып. 23. – С. 41–46.

2. Лапин, А. А. Расчет суммарной антиоксидантной активности адсорбированной структурированной воды в образцах лилии / А. А. Лапин, В. М. Мерзлякова, В. Н. Зеленков // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. – М.: РАЕН, 2016. – Вып. 24. – С. 28–33.

3. Лапин, А. А. Суммарная антиоксидантная активность водных экстрактов образцов лилий обработанных медь/углеродными нанокомпозитами / А. А. Лапин, В. М. Мерзлякова, В. Н. Зеленков // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. – М.: РАЕН, 2016. – Вып. 24. – С. 46–53.

4. Опыт применения металл/углеродных нанокомпозитов при выращивании цветов в защищенном грунте (на примере лилии) / В. М. Мерзлякова [и др.] // От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии: тезисы докл. V Междунар. конф. / под общ. ред. проф. В. И. Кодолова. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2015. – С. 122.

5. Мерзлякова, В. М. Антиоксидантная активность водных экстрактов образцов лилий обработанных медь/углеродным нанокомпозитом / В. М. Мерзлякова, В. И. Корнев // XX Аспирантско-магистерский семинар, посвященный дню Энергетика / ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». – Казань, 2016.

6. Лапин, А. А. Влияние инфракрасного облучения на антиоксидантную активность растительного сырья и адсорбированную в нем структурированную воду / А. А. Лапин, В. Н. Зеленков, В. М. Мерзлякова // Бутлеровские сообщения. – 2016. – Т. 47. – № 9. – С. 73–78.

7. Мерзлякова, В. М. Эффективность применения металл / углеродного нанокомпозита при выращивании лилии в условиях защищенного грунта / В. М. Мерзлякова, А. А. Лапин, В. И. Кодолов. От наноструктур, наноматериалов и нанотенологий к наноиндустрии: тезисы докл. VI Междунар. конф. / под общ. ред. проф. В. И. Кодолова. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2017. – С. 60–63.

УДК595.384.16

РЕЧНЫЕ РАКИ В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

САДЫКОВА Л.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. преподаватель ДЕМЕНТЬЕВ Д.С.

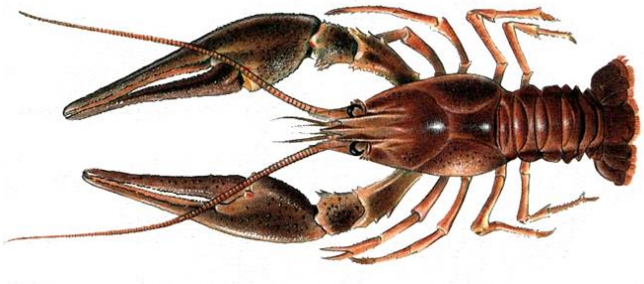
Речной рак является самым крупным представителем высших ракообразных в пресных водах Европы.

Речной рак – деликатесный продукт питания. По калорийности (72ккал / 100г), содержанию жиров (2,83 %), протеина (17,13 %) и витаминов группы В (тиамина, рибофлавина и др.) речные раки не уступают пресноводным рыбам, а по ряду показателей превосходят их (наличие некоторых незаменимых аминокислот, ферментов и др.) [5].

В пищу используется как мясо раков, так и скелетные части, из которых изготавливают муку для приготовления бульонов и подлив. В твердых внешних покровах раков содержится большое количество кальция и фосфора, благодаря чему их применяют для изготовления лекарственных препаратов.

На территории европейской части России обитает около 15 видов речных раков, относящихся к 3 родам: *Astacus, Pontoastacus, Caspiastacus* [4].

В водоемах Татарстана, по некоторым сведениям, обитает единственный вид речных раков – длиннопалый или узкопалый [4].



Узкопалый рак *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823)

В пределах Республики Татарстан узкопалый рак встречается практически по всей акватории Куйбышевского водохранилища, преимущественно вдоль высоких каменистых правых берегов рек Волги и Камы и в заливах с притоками, таких как: Свияжский, Мешинский [4].

По результатам исследований в 2003–2004 гг. Камский плес Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан) можно отнести к среднепродуктивным участкам, где численность раков в уловах составляла 0,08–0,75 экз./раколовку в час, в среднем – 0,24 экз./раколовку в час [4].

В Волжском плесе численность раков в уловах составляла 0,13–0,78 экз./раколовку в час, в среднем – 0,42 экз./раколовку в час. Пригодная для обитания раков мелководная площадь в плесе занимает около 23900 га [4].

В настоящее время промысел речного рака в водоемах Республики Татарстан отсутствует повсеместно, так как узкопалый рак долгое время находился в Красной книге и вылов его был запрещен [2].

В 2016 году узкопалый рак был исключен из Красной книги. [3].

Однако промысел пока не ведется, хотя спрос на речных раков по-прежнему остается стабильно высоким.

Также на территории Республики Татарстан расположено большое количество водоемов комплексного назначения. Их численность насчитывает более тысячи, а общая площадь около 4,5 тыс. га. Данные водоемы являются огромным резервом для промышленного разведения раков. Многие из них уже заселены, однако их ракопродуктивность и промысловая значимость не изучены [4].

В связи с вышесказанным становится актуальным вопрос о создании раководных хозяйств различной направленности.

Искусственное выращивание речных раков в Татарстане позволит увеличить и сохранить их запасы, обеспечить высокоценным мясом население республики. Благодаря разумному планированию рачного производства, возможно создание прибыльного предприятия с высокой рентабельностью.

Опыт выращивания раков на территории России уже есть. Например, в Астраханской области создано полноцикличное раководческое хозяйство «Братья Мамонтовы», на котором ежегодное получение молоди составляет 125–299 тыс. экз. В стадии создания находится второе подобное хозяйство. [4]. В 2012 году компания «АлтынФиш» стала заниматься выращиванием Австралийского красноклешневого рака Хераксе (Черакс) квадрикаринатус Australian Redclaw Crayfish (Cherax quadricarinatus). В настоящее время создан питомник по выращиванию австралийских раков с последующим сбытом (АлтынФиш, 2018).

По экспертным оценкам, выращивание раков в 5–6 раз рентабельнее рыбы [1].

Литература

1. Калмыков, Е. В. Проблемы и перспективы товарного выращивания рака в дельте Волги / Е. В. Калмыков // Проблемы охраны, рационального использования и воспроизводства речных раков. – М.: Мединор, 1997. – С. 116-118.

2. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). 2-е изд. – Казань: Изд-во «Идел-Пресс», 2006. – 832 с.

3. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). 3-е изд. – Казань: Изд-во «Идел-Пресс», 2016. – 760 с.

4. Раколовство и раководство на водоемах европейской части России. – СПб., 2006. 207 с.

5. Цукерзис, Я. М. Речные раки / Я. М. Цукерзис. – Вильнюс: Мокслас, 1989. – 143 с.

6. АлтынФиш Астрахань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.alfish.ru/razvedenie-tropicheskikh-ryb.

УДК 639.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ СТЕРЛЯДИ В УСТАНОВКЕ С ЗАМКНУТЫМ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕМ ООО «БИОСФЕРА-ФИШ»

ХАМИТОВА М.Ф., АРЕФЬЕВ И.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Аквакультура является одной из наиболее перспективных производственных отраслей сельского хозяйства Республики Татарстан, являющейся основой функционирования и развития продовольственного сектора промышленности и сельского хозяйства республики. В настоящее время принят «Комплексный план мероприятий по развитию аквабиокультуры в Республике Татарстан на период 2017–2022 годы» [1].

В современных условиях развитие аквакультуры идёт путём, аналогичным развитию земледелия. Среди важнейших региональных задач в функционировании аквакультуры можно назвать сохранение природных популяций ценных видов рыб в водоёмах Волжско-Камского региона и развитие высокоинтенсивного индустриального рыбоводства. Не меньшее значение имеет искусственное воспроизводство рыб с последующим выпуском в естественную среду обитания.

Появление интегрированных инновационных биотехнологических комплексов позволит не только восстановить качественное состояние водных биологических ресурсов региона, но и создать современные товарные рыбоводные хозяйства. Развитие рыбоводных хозяйств соответствует документам федерального уровня в области воспроизводства водных биологических ресурсов, постановлению Правительства РФ от 15.04.2014 № 314

«Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса», в части формирования и реализации механизма долгосрочного и эффективного управления водными биологическими ресурсами и функционированию их искусственного воспроизводства [1–3].

Индустриальное рыбоводство на базе установок с замкнутым водообеспечением (УЗВ) занимает особое положение в структуре современной аквакультуры. Среди рыбоводных хозяйств, успешно использующих технологии выращивания рыбы в УЗВ, большую долю занимают осетровые хозяйства.

Рыбопитомник «Биосфера-Фиш» располагается в Лаишевском районе Республики Татарстан в 25 км от города Казань. Окончание строительства первого рыбоводного цеха питомника планируется во втором квартале 2018 г. Цех рассчитан на получение 1 млн мальков стерляди массой 1–10 г. Производственный цех включает в себя: отделение выращивания живых кормов, инкубационно-личиночное, мальковое, ремонтно-маточное, зимовальное отделения, склад сухих комбикормов, лабораторию, кладовую-моечную инвентаря, санитарный пропускник, технологический коридор. Общая площадь цеха составляет 2880 м^2. Для содержания ремонтно-маточного стада в летний период в хозяйстве будут использоваться круглые бассейны площадью 18 м^2 (диаметр – 4,8 м), в количестве 10 шт. Зимовка производителей планируется в круглых бассейнах площадью 7 м^2 (диаметр – 3 м) – их 6 шт. Подращивание полученной молоди подразумевается в прямоугольных бассейнах, насчитывающих 96 шт. Водооборот системы будет обеспечиваться 4-мя несвязанными блоками водоподготовки, по одному на ремонтно-маточное, мальковое, зимовальное и инкубационно-личиночное отделения. Каждый блок водоподготовки будет включать в себя: механический барабанный и биологический фильтры, оксигенатор и озонатор.

Стерлядь (Acipenser ruthenus L., 1785) является представителем осетровых рыб, способным постоянно обитать в пресной воде. Распространена в реках, относящихся к бассейнам Черного, Каспийского и Балтийского морей, а также в бассейнах Северной Двины, Оби и Енисея. Самцы в пределах ареала созревают в возрасте 4–5, самки – 6–10 лет [4]. Более интенсивно стерлядь растет в первые два года, в дальнейшем темп роста замедляется. Средняя длина встречающейся в уловах стерляди достигает 40–60 см,

средняя масса – 0,3–1 кг [4–5]. Нерестится стерлядь в водоемах на галечном грунте при температуре от 7 до 20 °С. Внешне половозрелых рыб можно выделить по появлению беловатого налета на голове. Абсолютная плодовитость составляет от 4 до 140 тыс. шт. икринок.

В соответствии с нормативами по искусственному воспроизводству стерляди [5], плотность посадки ее молоди при выращивании до 1 г составляет 3 тыс. шт./м^2, до 10 г – 1 тыс. шт./м^2. Проведенные нами расчеты показали, что для получения запланированных данных площадь выростных бассейнов должна составлять 1000 м^2. Срок выращивания молоди до массы 10 составляет 62–68 сут. В строящемся рыбоводном цехе на мальковый блок отведено 415 м^2. Для реализации запланированной мощности производства в 1 млн мальков стерляди (в условиях цеха рыбопитомника «Биосфера-Фиш») необходима организация полицикличности производства, т.е. последовательное получение и выращивание молоди в разные сроки. В естественных водоемах нашего региона нерест стерляди проходит один раз в год в конце мая, самки способны созревать не более одного раза в год. В условиях УЗВ возможна искусственная регуляция созревания производителей благодаря контролируемым температурным условиям и гормональной стимуляции. Для стимуляции перехода производителей в преднерестовое состояние обеспечивается зимовка при температуре 5–8 ^{o}С с дальнейшим ее повышением до нерестовой – 14–18 ^{o}С. Благодаря тому, что в цехе предусмотрен зимовальный блок для производителей и участок для их преднерестового содержания, возможно выведение на нерест производителей в любой период года и получение молоди несколько раз в год. Количество циклов выращивания определяется длиной вегетационного сезона, пригодного для выпуска молоди в естественные водоемы. В условиях нашего региона для выпуска малька навеской до 10 г. может быть пригоден период с мая по сентябрь.

Первая очередь строящегося рыбопитомника рассчитана на 1 млн. мальков стерляди, имеются потенциальные возможности увеличения объемов производства, как молоди стерляди (до 5 млн шт.), так и молоди форели.

Литература

1. Калайда, М. Л. Аквакультура как основа для улучшения качества вод в Республике Татарстан / М. Л. Калайда // Вестник НЦ БЖД. – 2016. – № 3(29). – С. 115–122.

2. Калайда, М. Л. Современное состояние и задачи развития аквакультуры в Республике Татарстан / М. Л. Калайда // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. национальной науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2016. – С. 38–45.

3. Развитие кормопроизводства – важнейшая задача развития аквакультуры в Республике Татарстан на современном этапе / М. Л. Калайда [и др.] // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. II национальной науч.-практ. конф. / под ред. А. А. Васильева. – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2017. – С. 48–55.

4. Козлов, В. И. Товарное осетроводство / В. И. Козлов. – М., 1986. – 364 с.

5. Хрусталев, Е. И. Искусственное воспроизводство стерляди Acipenser ruthenus L. / Е. И. Хрусталев, Т. М. Курапова, К. Б. Хайновский // Биотехника искусственного воспроизводства рыб, раков и сохранение запасов промысловых рыб. – 2008. – С. 8–16.

УДК 639.3

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ РЫБОВОДСТВЕ

ХАМИТОВА М.Ф., ЦЫГАНОВ Р.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Рост рыб при выращивании в искусственно созданных условиях имеет первостепенное значение и определяется как генетическими особенностями выращиваемого вида, так и особенностями кормления и показателями водной среды [1, 2, 4].

Кормление рыб искусственными кормами должно обеспечить необходимое соответствие количества, качества и свойства пищи с требованиями и потенциальными возможностями роста рыб. Сбалансированные рационы должны обеспечивать высокий темп их роста при низких затратах корма, высокую устойчивость организма при низкой смертности, способствовать нормальному формированию воспроизводительной системы, получению продукции высокого качества, быть экономичными и т. д. [1].

В условиях высокоиндустриальных установок состав кормов приобретает особо важное значение, так как является единственным источником всех необходимых для роста рыб веществ. Особый интерес представляют пищевые добавки, которые вводятся в корм в следовых количествах для повышения роста за счет ускорения переваривания его компонентов, удовлетворения потребностей в микроэлементах и т.д.

Цеолиты представляют собой кристаллические гидроалюмосиликаты каркасного строения, обладающие свойствами тонкопористых молекулярных сит, полярных адсорбентов и ионообменников. Цеолит в составе комбикорма увеличивает активность амилолитических ферментов в кишечнике и гепатопанкреасе. С введением в состав комбикорма 5 % цеолита активность амилаз в химусе рыб увеличивается в среднем на 25,1 %, в стенке кишечника – на 25,3 %, в гепатопанкреасе – на 39,8 %. С введением в комбикорм 5 % цеолита доступность карпу отдельных аминокислот корма увеличивается на 6,7–26,9 %, а их суммы – на 9,8 % [3].

Исследование эффективности цеолита в качестве кормовой добавки для молоди карповых рыб проводилось на базе экспериментальной установки с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Установка состоит из 2-х емкостей объёмом 1000 л и 4-х экспериментальных лотков объемом 75 л. Очистка осуществляется с помощью трех емкостей, наполненных последовательно: мелкоячеистой фильтрующей загрузкой (выполняющей роль механической фильтрации); тонущей загрузкой из ПВХ; плавающей гофрированной загрузкой (биологическая фильтрация). Затем вода подается в УФ-стерилизатор, работающий круглосуточно. Ток воды обеспечивается 2-мя погружными насосами общей производительностью 240 л/час. В рыбоводных емкостях объемом 1000 л обеспечивается водооборот со скоростью 0,2 раза в час, в экспериментальных лотках не менее 0,5 раза в час.

Исследование цеолитовой кормовой добавки проводилось на сеголетках декоративного карася *Carassius auratus auratus* (Linnaeus, 1758).

В начале эксперимента масса молоди варьировала от 6,4 до 31,9 г.

За период экспериментального выращивания рыб в лотках плотность посадки изменилась с 2,8 до 3,7 кг/м^3. Температура варьировала в течение суток от 20 до 20,8 °С, содержание растворенного кислорода – от 5,2 до 7,29 мг O_2/л, pH – от 5,49 до 5,89, окислительно-восстановительный потенциал – от 7,6 до 33,3 мВ.

Для оценки эффективности использования кормовых добавок важно знание скорости роста на базе основных кормов. В качестве основных кормов в эксперименте применялась кормовая смесь из ингредиентов местного производства, перед этим высушенная при температуре не более 80 °С и измельченная. Расчетные концентрации белков в сухой смеси составили 33 %, жиров – 3,2 %, клетчатки – 0,24 %, углеводов – 18,5 %.

Эксперимент проводился на базе 3-х экспериментальных групп: 1 группа – контрольная, кормление производилось кормосмесью без цеолита, 2 группа – кормосмесь с 3 % цеолита, 3 группа – кормосмесь с 5 % цеолита. Питание проводилось 3 раза в сутки. Суточные дозы кормов определялись по [2] для высокоиндустриальных хозяйств. Стартовая среднештучная молоди масса составляла 16,5 г.

При одинаковых затратах кормов прирост массы рыбы в контрольной группе за 10 суток составил 20,1 %, во 2 группе – 30,3 %, в 3 группе – 19,5 %. Таким образом, показано, что введение цеолита в качестве кормовой добавки в количестве 3 % от сухой массы корма увеличивает прирост *Carassius auratus auratus* на 10,2 % за 10 суток по сравнению с контролем, при этом увеличение дозы цеолита до 5 % дает обратный эффект – сокращение прироста на 0,6 %.

Литература

1. Калайда, М. Л. Биологические основы рыбоводства: учебное пособие / М. Л. Калайда. – Казань: КГЭУ, 2013. – 151 с.

2. Козлов, В. И. Аквакультура: учебник / В. И. Козлов, А. Л. Никифоров-Никишин, А. Л. Бородин. – М.: МГУТУ, 2004. – 433 с.

3. Кулаев, С. Н. Эффективность использования природных цеолитов в комбикормах для карпа: автореферат кандидатской диссертации / С. Н. Кулаев. – М.: МГТА, 2002. – 16 с.

4. Рост осетровых рыб при использовании технологии интенсивного выращивания / С. В. [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 77–85.

Секция 3. ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 532.529.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В АППАРАТАХ ВИХРЕВОГО ТИПА

АГАПИТОВА А.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КАЛИМУЛЛИН И.Р.

Перспективность использования в процессах тепло- и массообмена, применение для обработки больших объемов газовых выбросов от вредных веществ, а также в качестве химических реакторов делают вихревые аппараты на сегодняшний день весьма привлекательными для теплоэнергетики и химической промышленности.

Возможное совершенствование вихревых аппаратов, направленное на повышение их производительности, эффективности и снижение гидравлического сопротивления, напрямую связано с детальным изучением закономерностей движения и взаимодействия гетерогенных потоков в этих устройствах.

При восходящем движении газа и жидкости выделяют три основных режима взаимодействия потоков: область слабых взаимодействий, в которой силы веса, давления и другие значительно превосходят силы межфазного взаимодействия, и каждая фаза течет практически независимо одна от другой; переходная область; область сильных взаимодействий, в которой межфазные силы равны или превосходят движущие силы одной из фаз и с некоторого момента начинается брызгоунос с поверхности.

В связи со сложностью замеров профиля скорости в тонкой пленке жидкости, определение режимов ее течения в большинстве случаев базируется не на результатах прямых измерений, а на анализе структуры волн на поверхности пленки, экспериментальных данных о ее средней толщине, касательных напряжениях на стенке труб или каналов и других косвенных характеристиках.

Одной из основных характеристик течения жидкостных пленок является плотность орошения. В качестве исходной величины плотности орошения принято принимать минимальный расход жидкости, необходимый для полного смачивания орошаемой поверхности и отнесенный к единице смоченного периметра. Следует иметь в виду, что минимальная плотность орошения принимается при установившемся течении по предварительно смоченной поверхности.

Существенное влияние на минимальную плотность орошения оказывает чистота поверхности, по которой течет жидкостная пленка. Коррозионный налет, ее шероховатость существенно влияют на величину минимальной плотности орошения и нередко приводят к разрыву пленки. В зависимости от потенциальной поверхностной энергии взаимодействия и расхода жидкости в пленке возможно течение сплошным слоем или ручьями. Для простоты предполагается, что стенка контактного патрубка абсолютно смачиваемая и пленка течет сплошным слоем. Отсюда следует, что, раз образовавшись, пленка так и течет.

Для эффективной работы ПВКУ необходимо обеспечить надежную сепарацию жидкости. Наибольшее распространение получили узлы окончательного разделения фаз, основанные на использовании сил инерции, такие как тороидальный, щелевой и дырчатый сепараторы.

Тороидальный сепаратор сложен в изготовлении и создает дополнительное сопротивление потоку газа. Для эффективной работы щелевого отсекателя ширина щелей должна в 6 раз превосходить минимальную расчетную толщину пленки жидкости. Наиболее эффективным является дырчатый сепаратор. Характерной особенностью его конструкции является отсутствие плоских участков поверхности.

Традиционно считается, что на сепарацию в ПВКУ влияют два основных фактора: избыточное давление газа внутри контактного патрубка и центробежная сила вращающейся пленки жидкости. Однако известно, что если сепаратор выполнен в виде плоского участка трубы с высверленными отверстиями, отделения жидкости от газа не происходит. Следовательно, только сил инерции вращающейся пленки и давления газа недостаточно. При этом, если поверхность зоны сепарации выполнена неплоской, отделение жидкости от газа происходит с высокой эффективностью. Поэтому можно предположить, что на сепарацию влияет также давление в результате перехода кинетической энергии движущейся пленки в энергию давления из-за торможения жидкости в неровностях у отверстий. Благодаря этому жидкость, поступая на перфорированную верхнюю часть контактного устройства, скапливается в устье отверстий и выдавливается из них в виде отдельных струй, которые распадаются на капли.

Расчеты показали, что на скорость жидкости в отверстиях оказывают существенное влияние такие параметры, как степень крутки потока и скорость газа в контактном патрубке, а также коэффициент сопротивления отверстий.

С ростом степени крутки потока скорость жидкости в отверстиях сепаратора возрастает при любых значениях удельной нагрузки. Увеличение коэффициента сопротивления отверстий приводит к падению скорости

сепарации, следовательно, на стадии изготовления прямоточно-вихревого контактного устройства необходимо обеспечить высокое качество поверхности контактного патрубка и зоны сепарации.

Существенное влияние на скорость сепарации оказывает также скорость несущего газового потока. Однако следует заметить, что при любых значениях скорости газового потока, степени крутки и коэффициента сопротивления наблюдается падение скорости сепарации при увеличении удельной нагрузки. Это связано с тем, что при повышении удельного орошения происходит разрушение вихревой структуры потока газа, влияние давлений на скорость сепарации снижается.

Так, обобщением экспериментальных данных выявлена закономерность влияния относительной удерживающей способности по жидкой фазе на гидравлическое сопротивление вихревого аппарата, отнесенное к произведению гидравлического сопротивления неорошаемого аппарата и параметра крутки.

Литература

1. Николаев, Н. А. Эффективность ступеней аппаратов с прямоточно-вихревыми контактными устройствами / Н. А. Николаев, С. С. Сабитов, Н. И. Савельев // Машины и аппараты хим. технологии. – 1977. – № 5. – С. 11–14.

2. Калимуллин, И. Р. Применение аппаратов с интенсивными гидродинамическими режимами для снижения выбросов двуокиси углерода / И. Р. Калимуллин, Д. Д. Латыпов, А. В. Дмитриев // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 3. – С. 15–19.

3. Овчинников, А. А. Аэродинамика двухфазного потока в массообменном аппарате с вихревыми контактными ступенями / А. А. Овчинников, Н. А. Николаев // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. – 1976. – Т. 19. – № 1. – С. 130–133.

УДК 536.7

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

БАШИРОВА Э.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. ХАРЧУК С.И.

Одной из основных отраслевых энергетических задач страны является обеспечение тепловых нужд населения. В зависимости от времени года и климатических условий регионов России значимость теплоснабжения может превалировать перед другими социально-экономическими нуждами

страны. Например, для жителей Якутии, где температура может достигать до –55 °С, от надежности теплоснабжения зависит жизнедеятельность региона. Длительность отопительного сезона различается по регионам России в 2 раза: от 5 месяцев (Дагестан) до 10 месяцев в году (Коми). Вследствие такого разнообразия климатических условий необходимо иметь системы теплоснабжения, адекватные разным конкретным требованиям к обеспечению теплом.

Первое место в мире по масштабам теплоснабжения: развитию теплофикации, протяженности тепловых сетей и объему производства тепла – занимает Россия. Однако этот сегмент топливно-энергетического комплекса страны был и остается совершенно нескоординированным в силу своей разобщенности.

Негативное состояние теплоснабжения России, которое достигло критических рубежей, продолжает сохраняться [1]. В то же время с появлением Федерального Закона о теплоснабжении [2] можно ожидать положительные тенденции в сегменте российского ТЭК. Важным звеном в выявлении направлений этих сдвигов является создание сценариев для развития систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) – главного способа обеспечения страны теплом.

В данной работе представлены результаты моделирования перспектив развития СЦТ России. В ходе исследования были проанализированы модельно-аналитические разработки Института народнохозяйственного прогнозирования РАН по долгосрочному планированию развития экономики и ТЭК России до 2030 г. и в последующие годы.

Возможное экономическое развитие России представлено двумя альтернативными сценариями.

Первый сценарий характеризуется неконкурентоспособной экономической динамикой и подразумевает продолжение в перспективе текущей экономической ситуации. Важным изменением в нем является то, что были проанализированы изменения в экономике, которые наблюдались во второй половине 2008 г. вследствие глобального экономического кризиса, и они были учтены. Следствием этого послужило значительное снижение величин прогнозных показателей. На данный момент ожидается возрастание ВВП страны к 2030 г. по сравнению с 2000 г. в 3–3,1 раза.

Второй сценарий обратен первому, характеризуется конкурентоспособной экономической динамикой и подразумевает продвижение активной инвестиционной политики, которая преимущественно направлена

на перестройку производственной структуры экономики и на внедрение широких инновационных технологий. В данном сценарии учитывается снижение темпов экономического роста в период 2008–2012 гг. Прогнозируется, что к 2030 г. ВВП страны увеличится в 4,4–4,5 раза относительно этого же показателя с 2000 г. В сценарии особое место отводится интенсивному изменению структуры национальной экономики, следствием чего является сокращение доли энергоемких отраслей и увеличение доли малоэнергиемких производств. Это позволит сдерживать рост энерго- и теплопотребления.

Оба сценария увязаны с темпами экономического роста. Прогнозируется, что в первом сценарии при соблюдении принятых в нем темпов экономического развития будет осуществлена перестройка структуры экономики. Это позволит повысить энергосбережение за счет использования новых внедренных технологий, которые будут менее интенсивными, чем во втором сценарии. Долговременные высокие темпы роста экономики возможны только при соблюдении следующего условия: ускоренного изменения структуры производства за счет опережающего развития малоэнергоемких отраслей. Это даст больше возможностей для энергосбережения.

Литература

1. Современное состояние теплоснабжения России / А. С. Некрасов [и др.] // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 1.

2. О теплоснабжении: федер. закон Российской Федерации от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ.

УДК 536.7

ЭФФЕКТИВНЫЙ РАДИУС ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

БАШИРОВА Э.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. ХАРЧУК С.И.

В соответствии с федеральным законом «О теплоснабжении» радиусом эффективного теплоснабжения (далее РЭТ) называется максимальное расстояние от теплопотребляющей установки до ближайшего источника тепловой энергии, при превышении которого подключение такой установки к данной системе нецелесообразно по причине увеличения в ней совокупных расходов. В связи с этим требуется внести некоторые пояснения об использовании нормативного определения «радиус эффективного теплоснабжения» в данных схемах.

Вопросы с использованием этого понятия наиболее часто возникают в трех случаях:

1) при определении фактического (сложившегося) радиуса теплоснабжения в зоне действия источника тепловой мощности и сравнении его с РЭТ;

2) при определении возможности расширения зоны действия источника тепловой мощности с целью обеспечения новых потребителей, планируемых к строительству вне существующей его зоны действия;

3) при оценке эффектов, возникающих при принятии решения о перераспределении тепловой нагрузки между источниками, с пресекающимися (или вложенными) зонами действия.

Задачи первого класса решаются с целью выбора дальнейшей стратегии о возможной трансформации зоны действия существующего источника тепловой мощности (ее сокращении или расширении в зависимости от «совокупных затрат в системе теплоснабжения» или, по-другому, «ценовых последствий для потребителей»).

Задачи второго класса утилитарно устанавливают прямое решение о возможности расширения зоны действия источника тепловой мощности и ограничений этого действия путем сравнения с РЭТ и также «ценовых последствий для потребителей».

Задачи третьего класса обеспечивают наличие информационной базы, необходимой для принятия решения о возможном перераспределении тепловой нагрузки с целью снижения совокупных затрат в системе теплоснабжения.

В настоящей работе демонстрируется применение методики расчета РЭТ с целью его сравнения при возникновении альтернативы в период присоединения потребителей, планирующихся к строительству вне существующей зоны действия источника теплоснабжения, – расширять ли данную зону или строить новый источник.

Принимая во внимание то, что район новой застройки должен быть обеспечен теплоснабжением в обязательном порядке, сравнение совокупных затрат и их минимизацию необходимо проводить, рассматривая конкурирующие решения, направленные на обеспечение тепловой мощностью как существующих, так и новых потребителей.

В качестве конкурирующих вариантов развития системы теплоснабжения на примере реализации методики рассматриваются два:

1) развитие системы теплоснабжения на базе существующего источника тепловой мощности;

2) строительство нового источника тепловой мощности (котельной) для обеспечения теплоснабжения района перспективной застройки.

Расчет совокупных затрат проводится для каждого варианта отдельно. Совокупные затраты для первого варианта включают в себя расходы, обеспечивающие производство и отпуск тепловой энергии для существующих и перспективных потребителей. Для ТЭЦ дополнительно включаются затраты на топливо для производства электроэнергии. Совокупные затраты для второго варианта включают в себя расходы на действующем источнике, обеспечивающие производство и отпуск тепловой энергии существующим потребителям, и расходы, обеспечивающие производство и отпуск тепловой энергии перспективным потребителям на новой котельной. Если на действующем источнике осуществляется комбинированная выработка тепловой и электрической энергии, то в совокупные затраты включаются расходы на топливо для производства электроэнергии за базовый год.

Расчет эффективного радиуса сводится к решению следующих задач:

1) собираются (или задаются) исходные данные;

2) задаются или прогнозируются приросты тепловой нагрузки района перспективной застройки;

3) определяется расстояние от точки подключения к существующей системе теплоснабжения до границы района новой застройки;

4) определяются параметры новых участков магистральной и распределительной тепловой сети;

5) проверяется наличие резервов по пропускной способности существующих магистральных тепловых сетей для обеспечения приростов тепловой нагрузки;

6) составляются балансы тепловой мощности;

7) составляются балансы производства тепловой энергии, потребления топлива, воды и электроэнергии (для ТЭЦ составляется баланс выработки электроэнергии);

8) определяются совокупные затраты для первого и второго вариантов развития системы теплоснабжения;

9) проводится сравнение совокупных затрат для первого и второго вариантов.

Литература

1. О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения: постановление Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2012 г. № 154 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2012. – Вып. 1. – Ст. 1242.

2. О теплоснабжении: федер. закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2010. – Вып. 31. – Ст. 4159.

3. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. М., Госстрой России, 2001.

4. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: Изд-во МЭИ, 1999.

УДК 541.62

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ПОЛОС В ИК-СПЕКТРАХ МОЛЕКУЛ $ЭХ_3$

ВАСИЛЬЕВ Т.В., ГАРЕЕВА И.С.,
КГЭУ, г. Казань

ХАЛИТОВА М.Ф., МЦК КТИТС, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ХАЛИТОВ Ф.Г.

Интерес к работам в области теплообмена излучением в настоящее время сохраняется. Теплообмен излучением играет исключительно важную роль в современной технике и технологии. Важны процессы пространственного переноса энергии электронного возбуждения внутри молекулы, перераспределения её по разным уровням и превращения в колебательную с последующей дезактивацией. Подробные сведения об этом даёт молекулярная спектроскопия. В частности, при рассмотрении вопроса глобального потепления с целью оценки вклада в поглощение различных молекул в ИК-области 800–1400 $см^{-1}$, находящихся в атмосфере, необходимы данные о интегральной интенсивности основных колебаний [1, 2].

Показатели молекулярной спектроскопии позволяют с большой точностью определить термодинамические параметры веществ, особенно газов. Её же методами определяют энергии и продукты фотодиссоциации, перезарядки, обменов и рекомбинаций, энергии и сечения ионизации (фотоотрыва) [1–3].

Молекулярная спектроскопия является важнейшим инструментом исследования геометрии, структуры и параметров молекул как в стационарном, так и (в особенности) в возбуждённых состояниях, почти недоступных для изучения иными методами; весьма важна возможность исследования релаксации возбуждённых состояний, хода фотофизических

и химических процессов и реакций с высоким временным разрешением, обнаружения и изучения короткоживущих комплексов и радикалов, комплексов соударений, кластеров и квазимолекул, т.е. объектов и процессов, недоступных для других методов [2, 3]. Для целей идентификации, исследования структуры молекул и для количественных аналитических задач также небходимо знание величин коэффициентов поглощения [4].

Экспериментально измеряемыми параметрами в молекулярной спектроскопии являются спектральный состав и интенсивность излучения. На практике основная информация о коэффициентах поглощения достигается путём проведения трудоёмких экспериментов. В то же время имеются модели, которые позволяют в принципе теоретически оценить и рассчитать эти коэффициенты и сопоставить с колебательными спектрами. Одной из теорий является квантовая механика. Расчёты проводятся многообразными методами с использованием различных базисов. Однако результаты расчётов даже для простейших молекул существенно отличаются в зависимости от используемого выбора параметров [4]. Другой путь – это расчёт частот и форм нормальных колебаний с последующим вычислением электрооптических параметров (производных дипольных моментов от нормальных или естественных координат).

В работе сделана попытка оценки величин, связанных с интенсивностями поглощения в колебательных спектрах молекул ЭХ3 (Э = N, P, As, Sb; X = Hlg). Ранее было показано, что для рядов ЭХ3 между экспериментальными дипольными моментами ($\mu_{мол}$) и потенциалами ионизации (ΔE) наблюдаются экспоненциальные зависимости:

$$\mu_{мол} = -\mu_0 + \mu^0_{Э^{з-}} \cdot \exp(-B \cdot \Delta E)$$

Использование этих данных для симметричных валентных (ν_S) и деформационных (δ_S) колебаний полос в ИК-спектрах молекул ЭХ3, (Э = N, P, As, Sb) позволило рассчитать изменения дипольных моментов ($\Delta\mu$) в колебательно-возбужденных состояниях. Полученные значения $\Delta\mu$ позволили оценить величины абсолютных интенсивностей А полос ν_S и δ_S [5, 6]:

$$A = \frac{8\pi^3 N\nu}{3hc} < 0|\Delta\mu|1>^2 .$$

Рассчитанные данные согласуются с экспериментально измеренными величинами для полос поглощения ν_S и δ_S некоторых молекул ЭХ3.

Литература

1. Бурштейн, К. Я. Квантово-химические расчеты в органической химии и молекулярной спектроскопи / К. Я. Бурштейн, П. П. Шорыгин. – М.: Изд-во Наука, 1989. – 104 с.

2. Bera, P. P., Francisco, J. S., Lee, T. J. // Journal. Phys. Chem. A. – 2009. – Vol. 113. – № 45. – P. 12694–12699.

3. Грибов, Л. А. Элементы квантовой теории строения и свойства молекул / Л. А. Грибов. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 312 с.

4. Кизель, В. А. Практическая молекулярная спектроскопия: учебное пособие / В. А. Кизель. – М.: Изд-во МФТИ. 1998. – 276 с.

5. Орвил-Томас, У. Интенсивности инфракрасных полос и полярные свойства молекул / У. Орвил-Томас, С. Сузуки, Г. Райли // Колебательная спектроскопия / под ред. Барнса А., Орвил-Томаса У. – М.: Мир, 1981. – 480 с.

6. Пентин, Ю. А. Физические методы исследования в химии / Ю. А. Пентин, Л. В. Вилков. – М.: Мир, 2003. – 684 с.

УДК 620.9

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

ВАШУРИНА А.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. ДМИТРИЕВ А.В.

В связи с постоянным темпом жизни и потребностями человека увеличиваются цены на возможные услуги, в том числе и на тепло- и водоснабжение, и эти убытки граждане стараются компенсировать различными способами. Так, нередко квартиросъёмщики задаются вопросом, как отказаться от центрального отопления, чтобы платить меньше. Это возможно, но сам процесс подразумевает два этапа – правовой и технический. Рассмотрим второй вопрос подробнее.

В силу данной проблемы возникает вопрос о выборе котла малой мощности. На рынке представлено очень большое количество импортных продуктов данной сферы, но из-за введенных в недавнем времени санкций, этот вид продукта для большинства граждан стал недоступен по финансовым

и прочим причинам. В подобной ситуации можно предложить более подходящий аналог – изготовление, выпуск и продажу отопительных котлов малой мощности с высоким КПД внутри собственной страны.

Отопительный котел представляет собой устройство, которое при помощи сгорания топлива (предложенный вид топлива – природный газ) будет осуществлять нагрев теплоносителя (в данном случае воды). Далее нагретый теплоноситель будет циркулировать по системе отопления, отдавая полученную теплоту от сгорания топлива через радиаторы, теплый пол и другие устройства, тем самым обогревая помещение.

Как и везде, основными характеристиками отопительных котлов являются мощность в кВт, количество контуров обогрева (один или два, в зависимости от проектирования отопительной системы помещения), тип топлива, вид камеры сгорания и способ монтажа. Кроме того используют и дополнительные характеристики, чтобы облегчить работу с устройством в быту (например, управление котлом).

Основными компонентами газового котла являются: газовая горелка, арматура, отвечающая за подачу газа, и теплообменник. Рассмотрим процесс передачи тепла от горения газа в горелке к стенкам теплообменника, по которому течет нагреваемый теплоноситель. При его сжигании образуются дымовые газы, которые производят тепловое излучение, нагревающее стенки теплообменника, где, в свою очередь, нагревается теплоноситель, и под действием насосов, встроенных в котел, он протекает по трубам, находящимсятся в помещении. Там происходит конвективный теплообмен с окружающим объёмом.

У каждого из устройств есть свои достоинства и недостатки. Рассмотрим положительные качества газового котла малой мощности: экономичность, простота в эксплуатации, не нужен запас топлива, экологичность.

К недостаткам можно отнести: необходимость наличия разрешительных документов, отсутствие автоматики, которая в случае утечки газа или недостаточной вентиляции перекроет доступ газа, особые требования к помещению.

Из-за двух видов передачи теплоты возникает проблема методики расчёта, потому что существует очень много программ для оптимизации процесса проектно-конструкторской и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов, которые могут рассчитать для дальнейшего проектирования устройства необходимые параметры только в одном из видов теплопередачи – либо излучением, либо конвекцией.

Также в дальнейшем проектировании и расчете устройства можно столкнуться с проблемой наличия азота, который содержится в воздухе (примерно 79 %), в реакции горения газа. С учетом этого реакция горения метана в воздухе в идеальных условиях выражается соотношением:

$$CH_4 + 2O_2 + 7{,}52N_2 = CO_2 + 2H_2O + 7{,}52N_2$$

Азот не участвует в горении газа, и в процессе теплового излучения от сжигания топлива он только будет являться носителем тепла, а поглощать тепло он будет конвективно. Поэтому при расчете выделенного тепла при горении природного газа количеством азота можно пренебречь.

В дальнейших расчётах будет получен примерный КПД данного типа котлов – 91 %. Поэтому можно сказать, что оптимальным вариантом при выборе котла в период перехода на автономное отопление будет являться данный котел малой мощности.

Следовательно, предлагаемая методика оценочного расчета котлов малой мощности позволит подобрать предварительную геометрию камеры сгорания.

УДК 621.928

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕПАРАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

ВУ ЛИНЬ НГУЕН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: д-р техн. наук, доц. ДМИТРИЕВ А.В.;
канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

В процессе окраски машин используются покрасочные камеры, основным элементом которых является большое количество дорогостоящих фильтров, очищающих воздух от вредных для человека и пожароопасных веществ, а также служащих для удаления излишек распыления и пыли, попадающей из окружающего пространства [1]. Использование сепараторов позволит улучшить систему очистки, а также снизить частоту замены фильтров. В последние годы в связи с истощением запасов нефти и природного газа актуальной задачей становится создание технологий безотходной переработки низкосортного твердого топлива. Использование сепараторов в выходных патрубках устройств газификации позволит снизить вредные выбросы в атмосферу [2]. Аналогичная проблема возникает

при транспонировании природного газа. Наличие водяных паров в нем понижает его теплотворную особенность и способствует образованию гидратов, кроме того при понижении температуры образуются жидкостные, ледяные и гидратные пробки. Поэтому основная задача газопереработки состоит в удалении из газа влаги и посторонних примесей. Для его очистки возможно использование дроссельных устройств, однако при этом возникают потери полного давления газа, что термодинамически не выгодно [4].

В работе [3] приведены конструкция прямоугольного сепаратора и результаты исследования процесса очистки дымовых газов от нескольких примесей с помощью разработанного сепаратора. Целью настоящего исследования является анализ эффективности первой ступени прямоугольного сепаратора в зависимости от геометрических размеров.

Схема ступени сепаратора приведена на рис. 1.

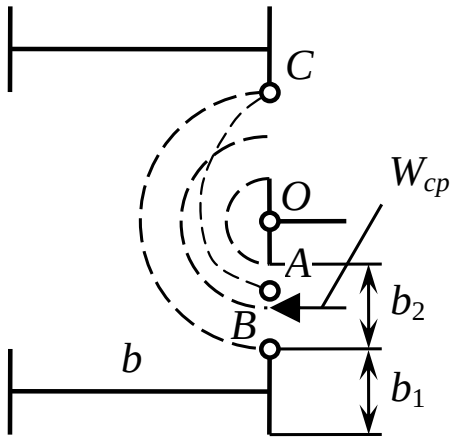


Рис. 1. Схема одной ступени прямоугольного сепаратора

Для двумерной модели предлагается использовать уравнения движения частиц в зависимости от времени полета капли в цилиндрических координатах

$$\frac{dU_r}{d\tau} = \frac{U_\phi^2}{r} + \frac{3}{4}\frac{\rho_G}{\rho_L} c_a \frac{|U_r|}{a}(-U_r),$$

$$\frac{dr}{d\tau} = U_r, \quad \frac{d\phi}{d\tau} = \frac{U_\phi}{r},$$

$$\frac{dU_\phi}{d\tau} = -\frac{U_r U_\phi}{r} + \frac{3}{4}\frac{\rho_G}{\rho_L} c_a \frac{|W_\phi - U_\phi|}{a}\left(W_\phi - U_\phi\right), \qquad (1)$$

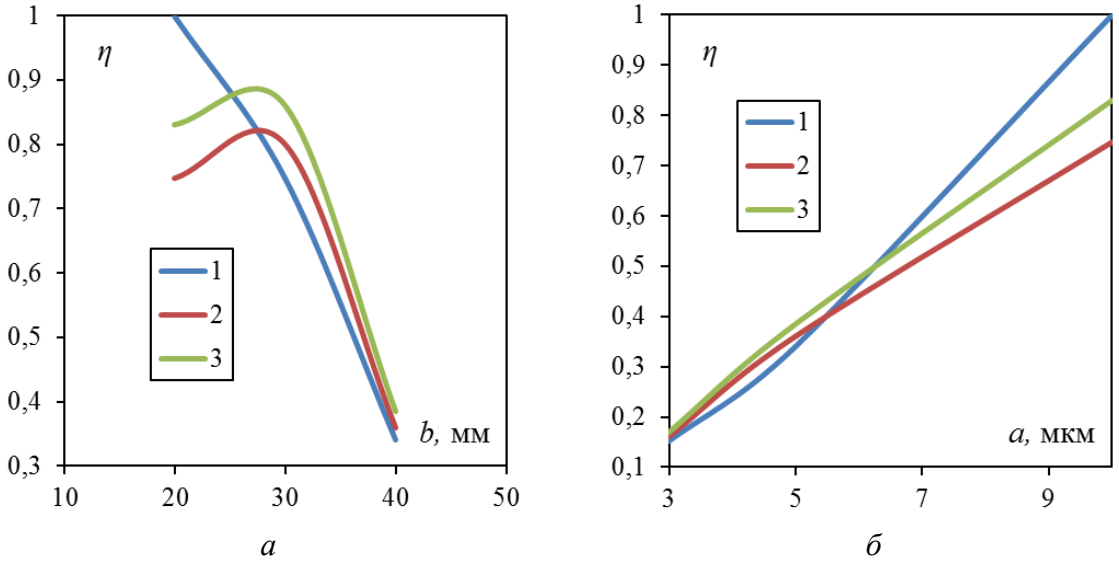
где U_r, U_ϕ и U_z – радиальная, тангенциальная и осевая составляющие скорости, соответственно.

Для решения используются начальные условия для системы уравнений: $U_r(0)=0; U_\phi(0)=0;\ \phi(0)=-\pi/2$. Начальный радиус частицы выбирается из условия её осаждения на верхней грани в точке C (см. рис. 1). Для расчета тангенциальной скорости обычно применяется зависимость $W_\phi = W_{\text{ср}}\left(r/r_{\text{ср}}\right)^n$, где $r_{\text{ср}} = (b_1 + b_2)/2$ – средний радиус. Коэффициент c_a рассчитывался по формуле $c_a = 24/\text{Re} + 4/\sqrt[3]{\text{Re}}$, где число $\text{Re} = U \cdot a/\nu$ вычисляется для частицы определенного диаметра, в зависимости от соответствующей скорости.

Точка C (рис. 1) совпадает с нижней точкой элемента прямоугольного сепаратора и соответствует концу траектории частицы, вылетающей из точки A. Эффективность сепарации частиц определяется из предположения, что частицы, вылетающие ниже начального радиуса, улавливаются ступенью сепаратора, а остальные улетают на следующую ступень. Исходя из этого предположения эффективность сепарации частиц на одной ступени:

$$\eta = \frac{G_1}{G_0} = \left[\left(\frac{b_1}{2} + b_2\right)^{n+1} - r_{\text{тек}}^{n+1}\right] \Bigg/ \left[\left(\frac{b_1}{2} + b_2\right)^{n+1} - \left(\frac{b^1}{2}\right)^{n+1}\right].$$

В результате расчетов получены зависимости продуктивности от геометрических размеров рабочей зоны. При увеличении ширины ячейки (рис. 2, *а*) эффективность сепаратора снижается (при ширине ячейки от 20 до 40 мм и высоте ячейки 3 мм), в случае высоты ячейки 5 и 7 мм она возрастает до ширины ячейки 30 мм, далее при повышении ширины ячейки производительность убывает. При ширине ячейки более 30 мм продуктивность больше у сепаратора с меньшей ячейкой.



а *б*

Рис. 2. Зависимость эффективности сепаратора: *а* – от ширины ячейки *b*, мм, при *w* = 10 м/с, *a* = 10 мкм; *б* – от диаметра частицы *a*, мкм, при *w* = 10 м/с, *b* = 20 мкм (*1–3* – высота ячейки, равная 3, 5 и 7 мм, соответственно)

При увеличении диаметра частицы эффективность сепаратора возрастает (рис. 2, *б*). Если диаметр частиц менее 5,5 мкм, то она увеличивается при росте высоты ячейки, при диаметре более 5,5 мкм эффективность выше у сепараторов с наименьшей высотой ячейки.

Литература

1. Повышение качества сушки окрашиваемых поверхностей машин / Д. Н. Афоничев [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 159–164.

2. Афанасьев, В. В. Анализ технологий газификации твердого топлива / В. В. Афанасьев, В. Г. Ковалев, В. А. Тарасов // Вестник Чувашского университета. – 2010. – № 3. – С. 194–205.

3. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами / А. В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 15. – С. 78–80.

4. Малышкина, М. М. Методика исследования эффективности очистки природных газов в сверхзвуковом сепараторе / М. М. Малышкина // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т 48. – № 2. – С. 262–268.

УДК 621.3.035.181.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛАСТИНЫ В ТРУБЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАЦИИ ЭМУЛЬСИИ

ГАЛИЕВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: канд. физ.-мат. наук, доц. СОЛОВЬЕВА О.В.;
канд. физ.-мат. наук, ст. преп. СОЛОВЬЕВ С.А.

В настоящее время главной задачей для нефтеперерабатывающих компаний является исследование процессов, связанных с очисткой и разделением эмульсий, которые являются затратными по времени и расходу электроэнергии. Одним из решений этой проблемы может служить использование гравитационно-динамических сепараторов (ГДС) [3]. Это один из наиболее эффективных способов разделения неустойчивых эмульсий, образуемых двумя несмешивающимися жидкостями.

Гравитационно-динамический сепаратор – это устройство, являющееся технологически инновационной разработкой, обладающее преимуществами в скорости и качестве разделения неустойчивых смесей в сравнении с другими [1]. Установка представляет собой емкость, внутри которой имеются различные элементы (перегородки), обеспечивающие наиболее оптимальное разделение двух фаз [2].

Целью работы являлось проведение параметрических расчетов течения эмульсии в трубе для определения и сравнения оптимального положения пластины – прямого и наклонного. Расчет течения эмульсии в трубе проводился в программном пакете ANSYS Fluent на двумерной геометрии в прямоугольной области для прямых и наклонных перегородок (рис. 1).

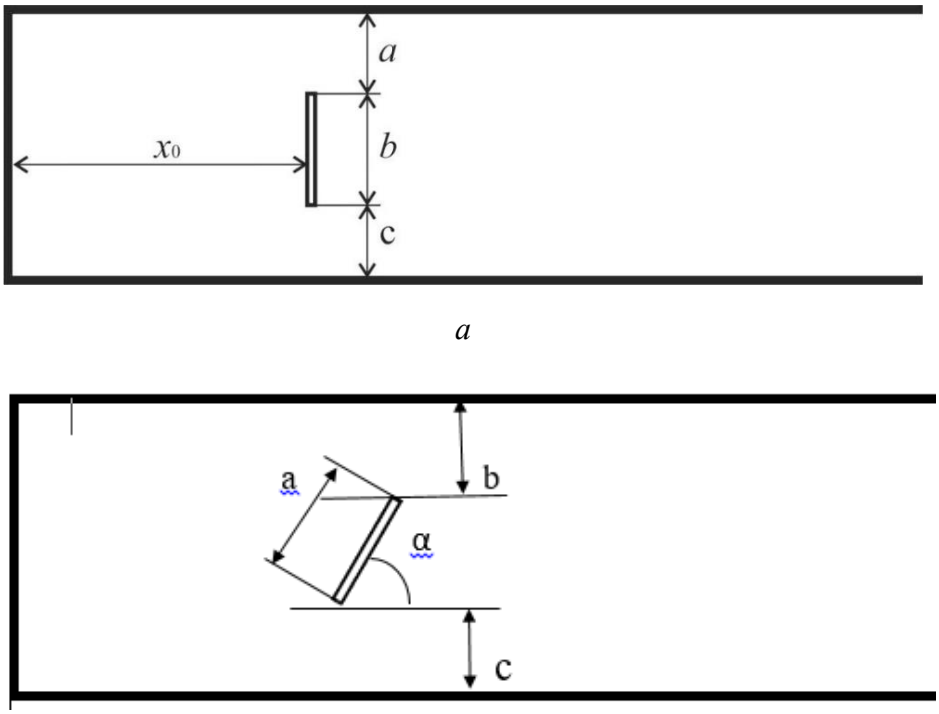


Рис. 1. Схемы расчетной области с прямой (*а*) и наклонной (*б*) перегородками

Для рассчетов были выбраны следующие параметры: $a = b = c =$ 0,02 м – расстояние между перегородкой и стенками; $x = 0{,}2$ м – точка успокоения эмульсии; $\alpha = 90$ ° – угол наклона пластины. Требовалось определить оптимальное значение расстояния от входной границы x_0.

В результате проведенного вычислительного эксперимента был выявлен для движения эмульсии вариант расположения перегородки в трубе $x_0 = 0{,}1$ м при заданном расходе и плотностях сред, при котором наблюдается скорое успокоение потока по сравнению со свободным каналом.

В случае с наклонной перегородкой (рис. 1, *б*) требовалось определить оптимальное значение угла наклона пластины α.

В расчетах выбраны следующие параметры: $a = b = c = 0{,}02$ м – расстояние между перегородкой и стенками (перегородка по высоте в середине рассматриваемой области); $x = 0{,}2$ м – точка успокоения эмульсии; $x_0 = 0{,}1$ м – точка расположения перегородки.

Анализ движения эмульсии для заданных параметров расчета при различных углах наклона перегородки позволяет сделать вывод, что расположение перегородки под углом 65 ° оказалось наиболее эффективным.

Таким образом, были проведены численные расчеты для определения наиболее оптимального варианта расположения перегородки в трубе с целью дальнейшей конструкторской оптимизации сепаратора. Использование наклонной перегородки имеет ряд преимуществ для процесса разделения, что объясняется изменением гидродинамики потока.

Литература

1. Заявка на изобретение 2013106536 РФ, МПК$^{2006.01}$ B01D 17/025. Способ разделения неустойчивых эмульсий и устройство для его осуществления (варианты) / Портнов И. Ю., Мильчаков А. В., Жарковский А. П., Петрушенков П. А.; заявитель Общество с Ограниченной Ответственностью «ЭЛЕКТРОЛ ПРОДУКТ». – №2013106536/05; заявл. 14.02.2013; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23.

2. Пат. 2536143 РФ, МПК$^{2006.01}$ B01D 17/025. Способ разделения неустойчивых эмульсий и устройство для его осуществления (варианты) / Портнов И. Ю., Мильчаков А. В., Жарковский А. П., Петрушенков П. А.; патентообладатель Общество с Ограниченной Ответственностью «ЭЛЕКТРОЛ ПРОДУКТ». – №2013106536/05; заявл. 14.02.2013; опубл. 20.12.2014, Бюл. 35.

3. Baffle plate configurations to enhance separation in horizontal primary separators / Derek Wilkinson et al. // Chemical Engineering Journal. – 2000. – P. 221–226.

УДК 541.62

О ВЗАИМОСВЯЗИ СТРОЕНИЯ И МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СОЕДИНЕНИЯХ $ЭХ_3$

ГАРЕЕВА И.С., ВАСИЛЬЕВ Т.В., КГЭУ, г. Казань

ХАЛИТОВА М.Ф., МЦК КТИТС, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ХАЛИТОВ Ф.Г.

Информация о силах межмолекулярных взаимодействий, существующих в реальных газах, являющихся теплоносителями в энергетических установках и двигателях, необходима для решения уравнений состояния рабочих тел и расчета различных теплофизических параметров.

Интерес к изучению молекулярных комплексов связан так же с тем, что межмолекулярные взаимодействия играют исключительно важную роль в понимании кинетики химических реакций, процессов растворения и адсорбции, эффектов самоорганизации молекул и образования супрамолекулярных систем с необычными физико-химическими свойствами [1]. Поэтому исследование слабых внутри- и межмолекулярных взаимодействий представляет собой одну из актуальных задач современной химической и молекулярной физики.

Сведения о межмолекулярных взаимодействиях получают различными физическими методами из экспериментов [2–5]. Но все эти методы дают косвенную информацию и не позволяют установить природу взаимодействий. Одним из путей изучения природы внутри- и межмолекулярных взаимодействий является поиск корреляционных зависимостей между энергиями таких взаимодействий и различными молекулярными характеристиками, которые могут отражать особенности строения подобных молекул.

Ранее было показано, что для молекул $ЭX_3$ между величинами разности первых потенциалов ионизации атома Э и молекулы ΔE наблюдаются зависимости с валентными углами (α) и дипольными моментами (μ) для рядов соединений $ЭX_3$ (Э = N, P, As, Sb; X = F, Cl, Br, I, CH_3) и характеризуют их структурное и электронное строение [6, 7]. Поэтому можно ожидать, что энергии межмолекулярных взаимодействий ΔH с участием неподеленных электронных пар будут изменяться с варьированием значений ΔE. Приведены результаты корреляций между величинами энергии межмолекулярных взаимодействий ΔH и потенциалами ионизации ΔE. Показано, что наблюдаемые прямолинейные зависимости между ΔH и ΔE противоположны для донорно-акцепторных взаимодействий и водородных связей [8]. Для донорно-акцепторных взаимодействий уменьшение ΔE приводит к повышению ΔH. Для водородных связей уменьшение ΔE приводит к понижению ΔH в рядах Э = N → P → As → Sb.

Проведен анализ комплексообразующей способности между трехвалентными соединениями элементов пятой группы периодической системы типа $R'_3Э_1 \cdot Э_2R''_3$ (Э = N, P, As) [9]. Для пар соединений $Hlg_3Э_1 \cdot Э_2Alk_3$

образуются устойчивые комплексы. Однако для пар $Me_3Э_1 \cdot Э_2Me_3$, образование комплексов не наблюдается. При этом для $PMe_3 – NMe_3$ признаки комплексообразования не обнаруживаются даже при –78 °С [9]. В кристалле аддукт $Cl_3As \cdot\cdot NMe_3$ имеет строение комплекса, объединенного через неподеленные электронные пары.

Литература

1. Гурьянова, Е. Н. Донорно-акцепторная связь / Е. Н. Гурьянова, И. П. Гольдштейн, И. П. Ромм. – М.: Химия, 1973. – 394 с.

2. Грагеров, И. П. Водородная связь и быстрый протонный обмен / И. П. Грагеров, В. К. Погорелый, И. Ф. Франчук. – Киев.: Наукова думка, 1978. – 216 с.

3. Кизель, В. А. Практическая молекулярная спектроскопия: учебное пособие / В. А. Кизель. – М.: Изд-во МФТИ, 1998. – 276 с.

4. Каплан, И. Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий / И. Г. Каплан. – М.: Наука, 1982. – 312 с.

5. Пентин, Ю. А. Физические методы исследования в химии / Л. В. Вилков. – М.: Изд-во «Мир», 2003. – 684 с.

6. Khalitov, K. F. Estimation of electrooptical parameters of EX_3 molecules in ground and excited states from empirical correlation equations Russian / K. F. Khalitov, V. F. Novikov, F. G. Khalitov // Journal of General Chemistry. – 2016. – Vol. 86. – № 10. – P. 2288–2294.

7. Халитов, К. Ф. Метод оценки величин интенсивностей полос поглощения в ИК- спектрах молекул вида $ЭX_3$ / К. Ф. Халитов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 9-10. – С. 139–145.

8. Халитов, К. Ф. Исследование электронного строения и межмолекулярных взаимодействий элементов пятой группы Периодической системы инструментальными методами / К. Ф. Халитов, В. Ф. Новиков // Аналитическая хроматография и капиллярный электрофорез: тезисы докл. III Всерос. конф. – Краснодар, 2017. – 191 с.

9. Holmes, R. R. Complex Formation in the Phosphorus Tribromide-Trimethylamine System and the Phosphorus Trichloride-Trimethylarsine System Phosphorus Nitrogen Chemistry / R. R. Holmes // J. Amer. Chem. Soc. – 1960. – V. 82. – № 20. – P. 5285–5288.

УДК 536.521.2

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ФАКЕЛА В ПАРОВОМ КОТЛЕ БКЗ-210-140Ф, РАБОТАЮЩЕМ НА ФРЕЗЕРНОМ ТОРФЕ С ПОДСВЕТКОЙ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

ДЕСЯТКОВ И.А., ВятГУ, г. Киров

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КУЗЬМИН В.А.

Наладка оптимального режима работы котельных агрегатов является одной из важнейших задач для теплоэнергетических предприятий [4]. На Кировской ТЭЦ-4 в качестве топлива используется смесь торфа и природного газа [6]. Поступление достоверной информации по вертикальному температурному профилю котла – это приоритетная задача при исследовании процесса горения топлива. Для получения профилей температур режимно-наладочной службой Кировской ТЭЦ-4 использовался пирометр Raynger 3i2MSC [1], работающий на длине волны 1,6 мкм.

Пирометр Raynger 3i2MSC позволяет измерять температуру объекта только при его известной степени черноты. Этот инфракрасный пирометр предназначен для измерения и контроля температур в литейном и металлургическом производствах. При проведении опытов не была произведена оценка степени черноты гетерогенных продуктов сгорания (ГПС), она бралась по интернет-источникам на уровне 0,7, что вносило в показания пирометра существенные погрешности [5].

В ходе исследования возникла необходимость разработки рекомендации по выбору пирометра для измерения температуры продуктов сгорания в топочной камере котла с минимальной погрешностью.

По разработанной нами программе «Spektr» [2, 3] для условий топки парового котла БКЗ-210-140Ф, работающего на фрезерном торфе с подсветкой природным газом, проведены расчеты характеристик излучения (спектральных плотностей потоков и степеней черноты) ГПС. В окнах прозрачности газовой фазы при $\lambda_1 = 1{,}1$ мкм, $\lambda_2 = 1{,}6$ мкм, $\lambda_3 = 2{,}1$ мкм, $\lambda_4 = 3{,}5–4{,}0$ мкм можно измерять температуры экранов, стенок топки и золовых частиц в потоке конденсированной фазы ГПС. В этих полосах влияние излучения газовой фазы на приемники пирометров со спектральной

чувствительностью не наблюдается. Однако для измерения температуры в этих полосах прозрачности газовой фазы необходимо знать степень черноты измеряемого объекта (экранов, отложений на них, стенок топки, потока золовых частиц и т. д.).

В полосе поглощения CO_2 $\lambda_5 = 4{,}1…4{,}5$ мкм степень черноты ε ГПС близка к единице и определяется уровнем температуры ГПС, толщиной излучающего слоя, концентрацией CO_2. А при длине волны 1,6 мкм, на которой работает пирометр Raynger 3i2MSC, регистрация излучения попадает на окно прозрачности газовой фазы и регистрирует излучение конденсированной фазы со степенью черноты, равной порядка 0,02, а не 0,7, которая была установлена на пирометре при проведении эксперимента.

Таким образом, при измерении температуры ГПС необходимо убедиться, что степень черноты, выставленная на пирометре, соответствует реальным условиям работы топки котла.

Литература

1. Инструкция по эксплуатации котлоагрегата высокого давления типа БКЗ-210-140Ф при работе на твёрдом топливе / ОАО «ТГК-5», Кировский филиал, обособленное структурное подразделение «Кировская ТЭЦ-4». – Киров, 2005. – 42 с.

2. Кузьмин, В. А. Комплексное исследование теплового излучения гетерогенных продуктов сгорания при сжигании торфа в энергетических установках / В. А. Кузьмин, И. А. Заграй, Р. В. Рукавишникова // Тепловые процессы в технике. – 2015. – № 10. – С. 459–464.

3. Кузьмин, В. А. Тепловое излучение гетерогенных продуктов сгорания при сжигании торфа / В. А. Кузьмин, И. А. Заграй, Р. В. Рукавишникова // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2015. – № 3-4. – С. 58–67.

4. Мейкляр, М. В. Паровые котлы с естественной циркуляцией / М. В. Мейкляр. – М.: Госэнергоиздат, 1955. – 279 с.

5. Отчет по режимо-наладочным испытаниям котла БКЗ-210-140ф ст. № 2 Кировской ТЭЦ-4 при сжигании смеси фрезерного торфа и природного газа / Филиал «Кировский» ОАО «Волжская ТГК». – Киров, 2015. – 18 с.

6. Расчеты по котлоагрегату БКЗ-210-140Ф для ТЭЦ-4 в г. Кирове, станционный № 6. – РСФСР, Барнаульский котельный завод, 1964. – 66 с.

7. Резников, М. И. Паровые котлы тепловых электростанций / М. И. Резников. – М.: Энероиздат, 1981. – 240 с.

УДК 66.074.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛАВЛИВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЕПАРАТОРАХ

ДМИТРИЕВ В.А., ЗИНУРОВ В.Э., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАРИПОВ И.И.

Одной из основных проблем нефтехимических, энергетических, металлургических и других отраслейможно назвать очистку воздуха от мелкодисперсных частиц, которые являются отходами различных технологических процессов на предприятии: сжигание топлива в камере сгорания, дробление минералов и т. д. Для решения данной проблемы в мире разрабатывается и уже разработано очень большое количество аппаратов. Основными аппаратами для очистки воздуха от взвешенных в нем твердых частиц являются инерционные пылеуловители. Из всей разновидности инерционных аппаратов наибольшее распространение имеют циклоны, способные улавливать до 99 % мелкодисперсных частиц в газовом потоке, характеризующиеся относительно высокой степенью очистки, дешевизной, простотой устройства и эксплуатации, надежной работой при температуре до 500 °С. К основным недостаткам циклонов относятся высокое гидравлическое сопротивление, достигающее 1250–1500 Па, и низкая эффективность при очистке газа от твердотельных частиц малого диаметра до 10 мкм [1].

Цель настоящей работы – исследование улавливания мелкодисперсных твердотельных частиц до 10 мкм. Поскольку циклоны успешно используются для очистки газов от твердотельных частиц преимущественно диаметром более 10 мкм, то возникает необходимость в применении дополнительных очистительных аппаратов, особенно актуальным это имеет место быть при работе на производстве с опасными, токсичными веществами: ванадий, асбест, свинец и др. Нами предлагается использовать разработанный прямоугольный сепаратор для улавливания частиц ≤ 10 мкм (рис. 1). Данный сепаратор можно рассматривать как альтернативу циклонам вследствие высокой очистки газов от мелкодисперсной пыли диаметром в диапазоне 10–300 мкм на 99,8–100 % [2].

Для расчета процесса улавливания мелкодисперсных частиц до 10 мкм применялся метод конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследования была взята модель турбулентности – SST.

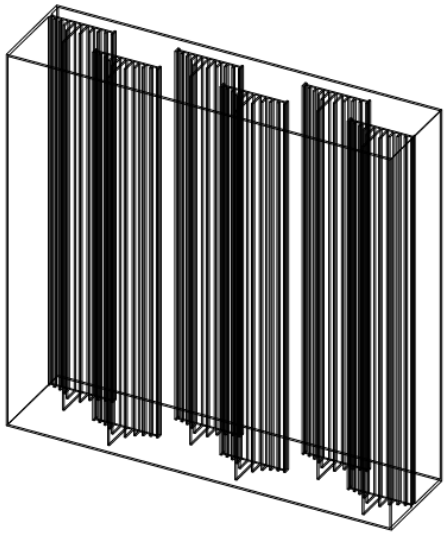


Рис. 1. 3D-модель прямоугольного сепаратора

Диаметр частиц продуктов сгорания d изменялся от 1 до 10 мкм, скорость газа w на входе в прямоугольный сепаратор варьировалась от 0,5 до 5 м/с. Параметры окружающей среды на выходе из прямоугольного сепаратора были заданы нормальными: атмосферное давление 101 325 Па, температура воздуха 273,15 К. Результаты исследования были представлены на рис. 2.

Наибольший эффект очистки газа от мелкодисперсной пыли сепарационными колоннами достигается при скорости нагнетания газового потока вентилятором $w = 0{,}5 – 1$ м/с (рис. 2). В данном диапазоне скоростей улавливается около 75 % частиц диаметром $d = 1–10$ мкм.

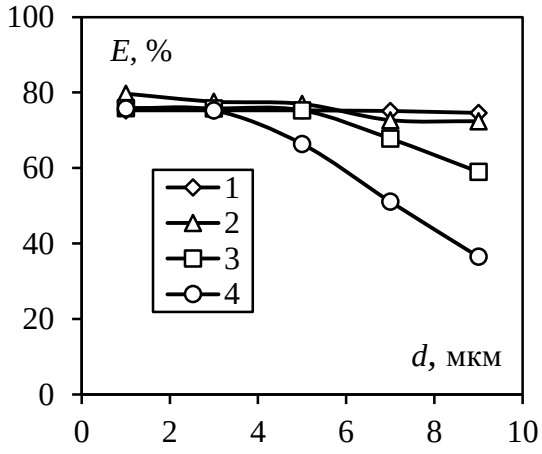


Рис. 2. Характер изменения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц E по росту их диаметра d при начальной скорости газа, м/с: *1* – 0,5; *2* – 1; *3* – 2; *4* – 5

Результаты исследования показали, что применение прямоугольного сепаратора может стать альтернативой циклону, что особенно актуально при необходимости очистки газа от мелкодисперсных частиц диаметром до 10 мкм. Максимальная эффективность сепаратора достигается при нагнетании скоростей газового потока менее 3 м/с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Литература

1. Страус, В. Промышленная очистка газов: пер. с англ. / В. Страус. – М.: Химия, 1981. – 616 с.

2. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами / А. В. Дмитриев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 15. – С. 78–80.

УДК 532. 54/55

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ГАЗА

ДМИТРИЕВА Е.С., ГРАЧЕВА Ю.А., СГУ, г. Саратов

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПЕЧЕНЕГОВ Ю.Я.

Имеющиеся теоретические и экспериментальные данные по влиянию переменности физических свойств газовых теплоносителей на их гидравлическое сопротивление ограничены и неоднозначны. Это обстоятельство затрудняет практические расчеты и обуславливает необходимость дальнейшего изучения данного вопроса.

Для газовых теплоносителей коэффициент гидравлического сопротивления неизотермических потоков обычно определяют по формуле

$$\xi = \xi_0 \cdot \varepsilon_\xi, \qquad (1)$$

где ξ_0 – коэффициент сопротивления для изотермического течения при одинаковом с неизотермическим потоком числе Рейнольдса Re; ε_ξ – поправка на влияние переменности физических свойств:

$$\varepsilon_\xi = \left(\frac{T_c}{T_{ср}} \right)^m, \qquad (2)$$

где T_c и $T_{ср}$ – абсолютные температуры стенки поверхности теплообмена и средней потока соответственно.

В литературе отсутствуют однозначные рекомендации по определению показателя степени m в уравнении (2). По данным разных авторов, полученным при примерно одинаковых условиях, m может принимать различные значения в интервале от 0 до 0,58 [1].

В недавно опубликованной работе [2] на основе использования консервативных законов пограничного слоя для коэффициента сопротивления турбулентного неизотермического потока получено теоретическое уравнение:

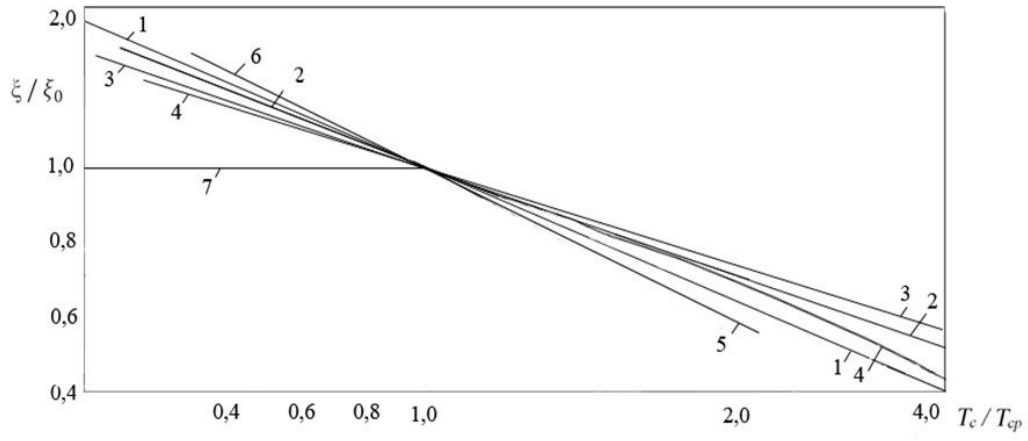
$$\xi = (0{,}3 \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}25} + 4{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot \mathrm{Re}^{0{,}12}) \cdot \left(\frac{T_c}{T_{ср}} \right)^{(0{,}25 \cdot m_\mu - 0{,}75)}, \qquad (3)$$

где m_μ – показатель степени в температурной зависимости для динамического коэффициента вязкости $\mu = \mu_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{m_\mu}$ значение μ_0 определено при T_0 = 273 К.

Уравнение (3) справедливо для интервала $\mathrm{Re} = 5 \cdot 10^3 - 10^8$ и через параметр m_μ позволяет учитывать индивидуальные особенности газов.

В настоящей работе выполнено сравнение расчета по уравнению (3) с результатами исследований других авторов. Некоторые из полученных данных приведены на рисунке.

Из рисунка следует, что расчет по выражению (3) удовлетворительно согласуется со сравниваемыми теоретическими и опытными данными разных авторов в области $T_c/T_{ср} > 1$. В области $T_c/T_{ср} < 1$ разброс имеющихся ограниченных опытных данных весьма значителен.



Зависимость от $T_c/T_{ср}$: воздух; *1* – по уравнению (3); *2* – опыты Тейлора; *3* – теоретический расчет Кутателадзе и Леонтьева; *4* – теоретический расчет Петухова и Попова; *5–7* – соответственно опыты Ильина, Иордана и Артемьева

Общий вывод состоит в том, что новое уравнение (3) справедливо в весьма широком диапазоне изменения чисел Re и оно дает возможность эффективно учитывать влияние переменности физических свойств индивидуальных газовых теплоносителей при их нагреве.

Литература

1. Деменок, С. Л. Теплообмен и гидравлическое сопротивление при турбулентном течении в каналах / С. Л. Деменок. – СПб.: Н-Пром Бюро, 2012. – 290 с.

2. Печенегов, Ю. Я. Гидравлическое сопротивление при течении в трубах неизотермических турбулентных потоков газа и жидкости / Ю. Я. Печенегов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 5.

УДК 538.9

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

ИМАМИЕВА З.Р., КГЭУ, г. Казань

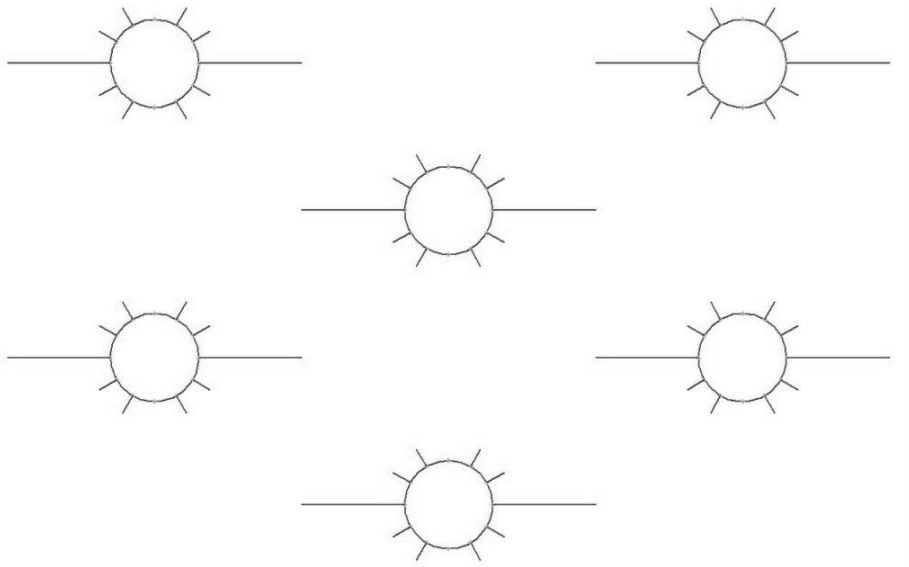
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. ДМИТРИЕВ А.В.

За счёт передачи тепла от пара к нагреваемым поверхностям и вследствие теплопотерь в паровых системах образуется конденсат. Конденсат – продукт конденсации парообразного состояния жидкостей, т. е. продукт перехода вещества про охлаждении из газообразной в жидкую форму. После конденсации пара необходимо выводить конденсат из системы, поскольку теплота, находящаяся в его определённом количестве, гораздо меньше теплоты, находящейся в таком же количестве пара, в результате чего значительно снижается эффективность теплосистемы. Однако это ещё далеко не самые серьёзные проблемы, которые могут возникать при отсутствии нормальной конденсатоотводящей системы в трубопроводной системе.

Кроме этого, существует и проблема недостаточной эффективности работы теплопроводов с большим количеством накапливающегося конденсата. Дело в том, что конденсат занимает в системах немалый объём, и, ввиду недостаточного количества теплоты, содержащегося в нём, существенно понижает теплоэффективность системы, а при заполнении этого пространства паром теплоотдача будет значительно увеличена. Таким образом, для того, чтобы избежать негативных последствий в виде различных типов гидроударов и низкой теплопроизводительности системы, необходимо обеспечить своевременный отвод конденсата из нее.

Конденсация – это процесс, который можно применять и в промышленности, и в быту. Он используется в энергетике, тепловых насосах, холодильной технике, нефтехимии и нефтепереработке и т.д. От эффективности его протекания зависит производительность установок, их эксплуатационные характеристики и габаритные размеры.

Мы предлагаем оребрённые трубы с такой компоновкой, как показано на рисунке.



Оребреные трубы

В большинстве случаев в паре присутствуют примеси газа, которые, как известно, существенно влияют на процесс конденсации. Они, имея более низкие значения коэффициента теплопроводности, снижают коэффициенты теплопередачи и, следовательно, интенсивность процесса. Проблема усугубляется при наличии высокого содержания неконденсирующихся газов. Как известно, процессы конденсации на любых поверхностях очень сложно рассчитываются или моделируются даже на самых современных вычислительных машинах. В то же время способы расчетов необходимы, так как не всегда получается провести эксперимент на реальном оборудовании. В данном проекте решается задача подбора способа расчета и проверка его адекватности.

В конструкцию было добавлено газоудаляющее устройство, благодаря которому удалость снизить влияние неконденсирующихся газов на интенсивность теплообмена. Описано влияние характеристики газоудаляющего устройства на работу предлагаемого конденсатора.

УДК 536.3

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООБМЕНА ЦИФРОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ ИНТЕНСИВНОЙ ИНСОЛЯЦИИ

КАБАКОВ П.А., ПЛАТОНОВ Д.В., ЛИТВИНОВ С.Н., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЛЕБЕДЕВ В.Д.; доц. СМИРНОВ Н.Н.

Работа измерительного оборудования воздушных линий электропередачи летом часто связана с риском перегрева от повышенных температур окружающего воздуха, высокой солнечной активности, штиля и длительных сверхнормативных значений напряжения. Диагностика состояния разработанных в ИГЭУ цифровых трансформаторов тока и напряжения (далее ЦТТН) является важной задачей для бесперебойного коммерческого учета потребленной электрической энергии, а также для корректного функционирования системы релейной защиты. Для создания системы тепловой диагностики работы ЦТТН были созданы математические модели теплообмена вышеуказанного оборудования с окружающей средой.

Конструкция комбинированного цифрового трансформатора тока представлена на рис. 1. Измерение напряжения переменного и постоянного токов осуществляется с применением его делителей. Трансформаторы конструктивно состоят из следующих компонентов: первичных преобразователей напряжения *1* и силы *2* переменного и постоянного токов *1*; электронного блока *3*.

Была создана математическая модель, описывающая тепловое состояние трансформатора в условиях естественной конвекции и интенсивной инсоляции (рис. 2). В программе COMSOL Multiphysics с помощью метода конечных элементов моделировался динамический теплообмен между различными конструкциями трансформаторов напряжения, разработанных в ИГЭУ, и окружающей средой при неблагоприятных погодных условиях. Внутренние тепловыделения в резисторах задавались исходя из протекающего в них электрического тока на основании закона Джоуля–Ленца.

Внешние параметры определялись изменяемой дневной температурой наружного воздуха для июльских условий южных регионов России, а также инсоляционной характеристикой, с помощью встроенной в программный комплекс процедуры задания положения Солнца в зависимости от широты и долготы расположения объекта исследования. Рассеянная

радиация задавалась с помощью дополнительной функции. Коэффициенты теплоотдачи конвекций описывались на основании критериальных зависимостей [1] и данных физических экспериментов на тепловых макетах трансформаторов напряжения.

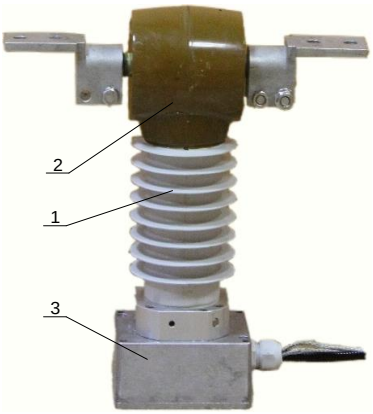


Рис. 1. Внешний вид цифрового трансформатора 6–10 кВ

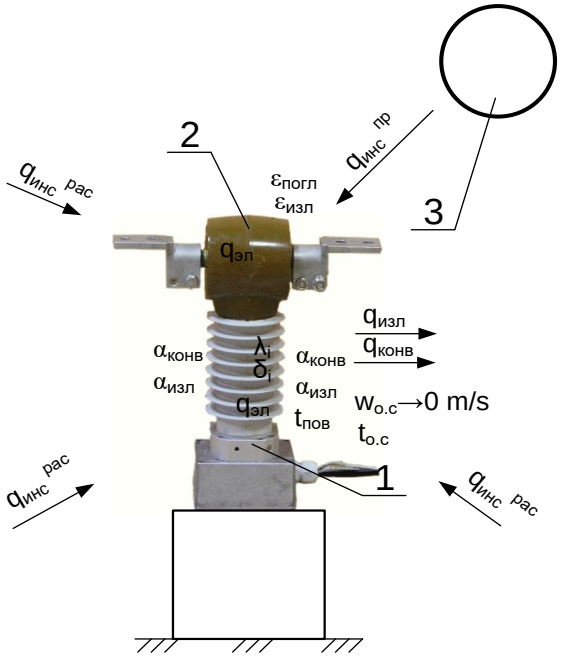


Рис. 2. Схема математической модели теплообмена комбинированного трансформатора с окружающей средой: 1 – преобразователь напряжения; 2 – первичный преобразователь силы тока; 3 – Солнце

Задавалось различное расположение резисторов в стеклотекстолитовой трубе трансформатора напряжения и определялся самый теплонапряженный элемент сопротивления с учетом его саморазогрева, аккумулятивного эффекта и воздействия повышенной инсоляции на поверхность, прилегающую к месту расположения резистора.

В результате проведенного математического моделирования было выяснено, что наибольшие значения температур на резисторах фиксируются во второй половине дня при западной ориентации в случае сверхнормативных значений напряжения. Данные моделирования использованы при создании алгоритмов тепловой диагностики состояния разработанных конструкций цифровых трансформаторов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Мультифункциональная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровой подстанции» (Соглашение №14.577.21.0276 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57717X0276).

Литература

1. Бухмиров, В. В. Тепломассообмен: учебное пособие / В. В. Бухмиров. – Иваново, 2014. – 360 с.

УДК 532.546 : 624.131.63

РАСЧЁТ ЗОНЫ СУФФОЗИОННОГО МАССОПЕРЕНОСА ОТ ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА В ГРУНТЕ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЛУБИНЫ

КАЗАРИНОВ О.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. ЯКИМОВ Н.Д.

Рассматривается вопрос о появлении линейного источника воды (например, при прорыве водовода) в слое грунта, расположенном на твёрдом горизонтальном основании. Грунт представляет собой мелкий галечник или гравий, поры которого заполнены водонепроницаемой мелкозернистой фракцией (типа ила или глины). Суффозионный массоперенос состоит в том, что фильтрующаяся от источника вода вымывает мелкодисперсную фракцию из пор скелета при достаточно высоких скоростях течения (первоначально по местам нарушенной структуры, [1]). Твёрдое основание непроницаемо и не разрушается. Требуется определить конечную форму зоны вымыва.

Это является обобщением задачи, рассмотренной в [1]. Течение воды в грунте считается двумерным, подчиняющимся линейному закону Дарси с постоянным коэффициентом фильтрации k во всей области. На формирующейся границе зоны суффозии скорость фильтрации принимает (в конечном состоянии) предельное для размыва значение v_*. Математическую постановку задачи (ввиду симметрии) можно формулировать для половины области течения. Её граница содержит горизонтальную линию выхода потока ($y=0$) с нулевым напором ($h=0$), вертикальную ось симметрии ($x=0$) с условием непроницаемости $\left(\frac{\partial h}{\partial x}=0\right)$, на которой на глубине T расположен точечный источник интенсивности q. В отличие от [1], здесь может быть два искомых участка формирующейся суффозионной границы, разделённых горизонтальным участком границы твёрдого основания. На суффозионных участках скорость фильтрации равна v_* (вместе с условием непроницаемости $\partial h/\partial n=0$), на границе основания $y=-L$, где L – толщина слоя грунта, $\frac{\partial h}{\partial y}=0$.

Для решения можно, подобно [1], ввести комплексный потенциал течения $w(z)=\phi(x,y)+i\cdot\psi(x,y)$, являющийся в искомой области аналитической функцией комплексного переменного $z=x+i\cdot y$. Здесь $\phi(x,y)=-k\cdot h(x,y)$, где $h(x,y)$ – пьезометрический напор, $\psi(x,y)$ – функция тока. Соответствующая постановке область в плоскости переменного w оказывается известной (это полуполоса). Также оказывается известной область в плоскости комплексной скорости $\omega=\frac{dw}{dz}$ – это полуплоскость с полукруговым вырезом и разрезом. Длина разреза – неизвестный параметр, который (вместе с положением образа точки $z=0$ на границе этой области) связан с исходными геометрическими параметрами T и L.

Наличие двух известных областей позволяет применить метод конформных отображений. При этом требуется построить конформное отображение этих областей друг на друга $\omega=\omega(w)$. Тогда искомая область в плоскости переменного z может быть определена таким отображением, построенным преобразованием вида

$$z(w)=\int_0^w \frac{dw}{\omega(w)}. \qquad (1)$$

При реальном решении приходится вводить дополнительную область, в качестве которой используется верхняя полуплоскость вспомогательного переменного $\zeta = \xi + i \cdot \eta$. Тогда конформные отображения $w = w(\zeta)$ и $\omega(\zeta)$ могут быть построены классическими методами в явном виде. При этом выражение (1) принимает вид

$$z(\zeta) = \int_{\zeta_0}^{\zeta} \frac{dw(\zeta)}{d\zeta} \frac{d\zeta}{\omega(\zeta)}. \qquad (2)$$

В отличие от [1], здесь из-за наличия разреза на границе выражение для $\omega(\zeta)$ имеет сложный вид, и вычислить интеграл (2) в явном виде не удаётся. Решение после подстановок, преобразований и разделения вещественной и мнимой частей записывается через квадратуры, которые допускают расчёт эффективными численными методами на обычных персональных компьютерах. Разработан алгоритм решения, проведены расчёты, показывающие влияние твёрдого основания на форму и размеры суффозионной зоны.

Литература

1. Казаринов, О. В. Расчёт зоны суффозионного массопереноса от линейного источника / О. В. Казаринов // Материалы докладов XII Международной молодёжной научной конференции «Тинчуринские чтения». В 3 т. – Казань: Изд-во Казан. гос. энерг. ун-та, 2017. – Т. 2. – С. 336–338.

2. Ильинский, Н. Б. Краевые задачи теории взрыва / Н. Б. Ильинский, А. В. Поташев. – Казань: Изд-во КГУ, 1986. – 184 с.

УДК 533.1, 536.75

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В СРЕДЕ СУБ- И СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЫ

КАРИМОВ Т.М., МУХАММАДИЕВ А.Д., ГИЛЬМУТДИНОВ И.И.,
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. САБИРЗЯНОВ А.Н.

Гидроксид алюминия (бемит) применяется в различных областях техники, начиная от производства керамических покрытий, заканчивая использованием в каталитических процессах. Способы получения бемита напрямую влияют на свойства конечного продукта. Выбранный для исследования метод гидротермального синтеза позволяет получать микроразмерный порошок бемита, высокой степени чистоты, не прибегая к использованию сложных и многостадийных реакций.

Данная работа посвящена изучению сверхкритического водного окисления. Исследования окисления алюминия проводились в диапазоне температур T = 275÷395 °С, давлений P = 15÷30 МПа, с объемом воды V = 120÷330 мл, время реакции 3 и 24 ч. Полученные образцы были проанализированы с помощью рентгеновской дифрактометрии на базе энергодисперсионного спектрометра INCA X-Max (разрешение 127 эВ) с целью определения фазового состава.

Экспериментальные исследования проводились на установке, представленной на рисунке.

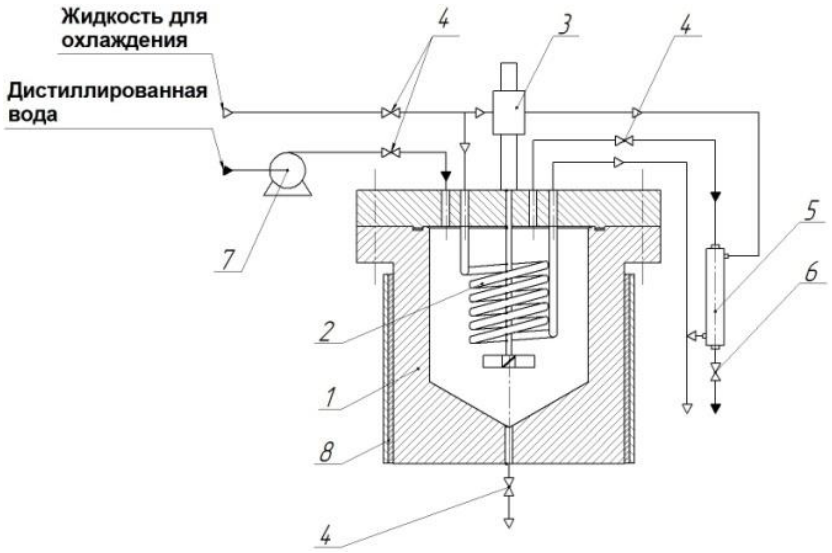


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для проведения гидротермального синтеза: *1* – реактор; *2* – охлаждающий змеевик; *3* – магнитная мешалка; *4* – клапан; *5* – теплообменник для охлаждения; *6* – регулятор обратного давления; *7* – насос; *8* – нагревательная рубашка

Полученные образцы после сверхкритического водного окисления представляют собой порошок белого цвета, состоящие из агломератов кристаллов бемита.

Результаты экспериментальных исследований и рентгенофазового анализа представлены в таблице.

Результаты фазового анализа

№	$T_{реак}$, °С	$P_{реак}$, МПа	$V_{вода}$, мл	τ, ч	Наименование фазы	% массы
1	395	25	330	24	Бемит (γ-AlOOH)	88,28
					Корунд (α-Al_2O_3)	10,15
					Акдалаит ($Al_3O_4(OH)$)	1,06
					Диаспор (α-AlOOH)	0,51

Окончание таблицы

№	$T_{реак}$, °C	$P_{реак}$, МПа	$V_{вода}$, мл	τ, ч	Наименование фазы	% массы
2	285	22	150	24	Бемит (γ-AlOOH)	53,03
					Корунд (α-Al_2O_3)	27,22
					Акдалаит ($Al_3O_4(OH)$)	15,1
					Диаспор (α-AlOOH)	4,65
3	275	30	300	3	Бемит (γ-AlOOH)	100
4	275	15	120	3	Бемит (γ-AlOOH)	100

По результатам фазового анализа видно, что чистый бемит был получен при температуре T = 275 °C, давлении P = 15÷30 МПа, объемах воды V = 120 и 300 мл, времени реакции τ = 3 часа. Образцы, полученные при более длительной реакции (τ = 24 ч), содержат в себе помимо фазы бемита еще и диаспор, корунд и акдалаит. Из экспериментальных данных видно, что состав получаемого продукта зависит от времени реакции, температуры и давления.

Литература

1. Синтез нанокристаллов оксида алюминия в гидротермальных условиях / О. В. Альмяшева [и др.] // Неорганические материалы. – 2005. – Т. 41. – № 5. – С. 460–467.

2. Structure and Stability of Aluminum Hydroxides: A. Theoretical Study / M. Digne et al. // The Journal of Physical Chemistry. B. – 2002. – Vol. 106. – № 20. – P. 5155–5162.

УДК 536.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

КОМАРОВ К.А., КОНСТАНТИНОВ А.Д., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. СОЗИНОВА Т.Е.

Точное определение теплового потока излучением в большей степени зависит от значения интегральной степени черноты. В условиях реального излучения тел используется модель серого тела. В инженерной практике для расчёта плотности теплового потока собственного излучения серого тела используют выражение, полученное с учётом закона Стефана – Больцмана [1]:

$$E = \varepsilon \cdot E_0 = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4,$$

где ε – интегральная степень черноты серого тела; E_0 – плотность теплового потока абсолютно черного тела; σ_0 – постоянная Стефана – Больцмана; T – абсолютная температура серого тела.

В настоящее время существует множество справочных источников, приводящих значения степени черноты тел, но эти данные соответствуют идеальным поверхностям и не учитывают их физическое состояние, такое как шероховатость, степень загрязнения, а также зависимость степени черноты от температуры и ряда других теплофизических характеристик.

На кафедре «Теоретические основы теплотехники» ИГЭУ теплообмен излучением студенты изучают на лабораторной установке, исследуемым объектом в которой является вольфрамовая нить [2]. В существующей установке только один объект (вольфрамовая нить), для которого экспериментально определяют интегральную степень черноты.

В основе вновь созданной экспериментальной установки лежит прототип лабораторного стенда компании ООО «Тримбирт» [3]. Новый стенд представляет собой три исследуемые образца диаметром 140 мм с разной степенью черноты (рис. 1). Все образцы выполнены из стали: первый образец окрашен черной краской, второй – белой краской, третий – не окрашен. Исследуемые образцы нагреваются с внутренней стороны электронагревателем, который дает им одинаковую тепловую мощность.

В центре каждого образца *1* с внешней стороны закреплены хромель-алюмелевые термопары. Электрический сигнал с них подается на милливольтметр *4*. Лабораторным автотрансформатором *3* происходит регулирование мощности нагревателя. Переключение между термопарами происходит при помощи тумблера *5* (рис. 2).

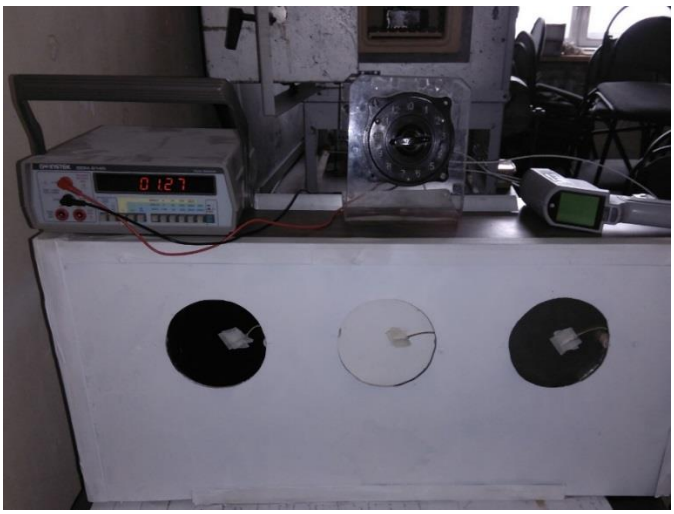


Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда

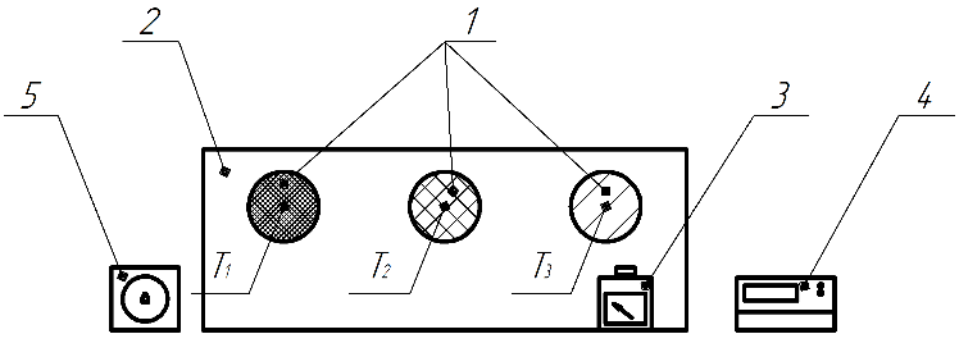


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: *1* – образцы; *2* – передняя панель установки; *3* – ЛАТР; *4* – милливольтметр; *5* – тумблер переключения термопар

С помощью пирометра и (или) тепловизора с установленной в приборе интегральной степенью черноты, равной единице, осуществляется замер температуры поверхности каждого образца. Показания милливольтметра переводятся в температуры по градуировочным таблицам. Измеренные температуры сводятся в таблицу. Степень черноты поверхности образца определяется из приравнивания двух одинаковых тепловых радиационных потоков, один из которых измеряется пирометром или тепловизором при заданной интегральной степени черноты, равной единице, а второй – термопарой, с действительной степенью черноты образца:

$$\varepsilon_i = \frac{T_{\text{ИК}i}^4 - T_0^4}{T_i^4 - T_0^4},$$

где $T_{\text{ИК}i}$ – температура, измеренная инфракрасным пирометром, К; T_i – температура, измеренная термопарой, К; T_0 – температура окружающей среды, К.

На вновь созданной установке были проведены эксперименты по определению интегральной степени черноты при разных температурах образцов.

Литература

1. Бухмиров, В. В. Тепломассообмен: учебное пособие / В. В, Бухмиров. – Иваново, 2014. – 360 с.

2. Бухмиров, В. В. Определение интегральной степени черноты твердого тела: методические указания к выполнению лабораторной работы / В. В. Бухмиров, Т. Е. Созинова. – Иваново, 2006. – 20 с.

3. URL: https://measlab.ru/catalog/stands/teplotekhnika-i-termodinamika/laboratornaya-ustanovka-dlya-issledovaniya-teploobmena-izlucheniem/

УДК 536.3

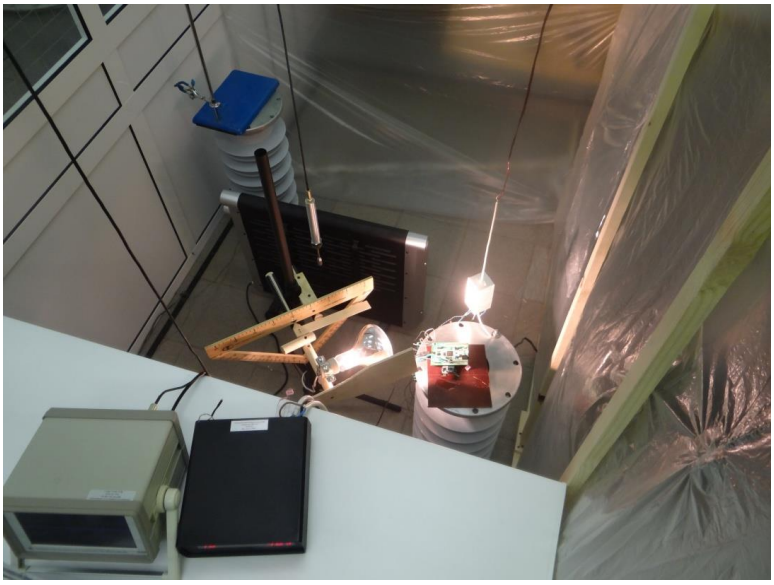
ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА РЕЗИСТИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЯХ

ЛИТВИНОВ С.Н., ПЛАТОНОВ Д.В., КАБАКОВ П.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук.: канд. техн. наук, доц. ЗАХАРОВ В.М.;
доц. СМИРНОВ Н.Н.

Разработка новых конструкций измерительных трансформаторов напряжения является актуальной задачей для технического и коммерческого учета потребленной электрической энергии. Электрические процессы, происходящие в делителях, состоящих из группы резисторов, связаны с выделением тепловой энергии. Перегрев резистора может привести к выходу из строя данной измерительной техники [1]. При работе резистивных делителей напряжения летом в условиях высоких значений температуры воздуха, солнечной энергии и возможного превышения номинальных значений напряжения в электрических сетях важной задачей является исследование теплообмена резистора с окружающей средой.

В лаборатории кафедры «Техника высоких напряжений» ИГЭУ была проведена серия физических экспериментов по изучению влияния электрического напряжения, высоких температур окружающего воздуха и инсоляции на температурный режим работы резистора, а также по определению температуры разрушения резистора при неблагоприятных условиях (рисунок). Изучалась динамика происходящих процессов.



Испытание резистора в лаборатории высоких напряжений

Резистор помещался в силиконовую оболочку в форме параллелепипеда. В качестве заливки применялся силикон, аналогичный используемому в цифровом трансформаторе напряжения. Температура окружающего воздуха поддерживалась в секционированном пространстве лабораторной ячейки в пределах 40 °С с помощью измерителя-регулятора температуры ИРТ-4/16 и радиатора, интенсивность инсоляции на поверхности силикона устанавливалась с помощью зеркальной лампы накаливания в пределах 500 Вт/м^2. Напряжение задавалось в нормируемом значении и при работе в аварийном режиме. Температуры сред и поверхностей определялись с помощью платиновых термометров сопротивления, измерителя влажности и температуры ИВТ и тепловизора. Теплопроводность силиконового заполнения была выявлена в калориметрической установке центра АНО «Ивановостройиспытания».

В ходе исследований было выяснено, что разрушение резистора начиналось при температуре более 200 °С, воспламенение – при 250 °С. Воздействие инсоляции на резистор повышало его температуру на 15–25 °С в зависимости от значений напряжения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Мультифункциональная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровой подстанции» (Соглашение №14.577.21.0276 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) – RFMEFI57717X0276).

Литература

1. Lebedev, V. Analysing the thermal state of voltage transformer based on resistive voltage divider / V. Lebedev, V. Zhukov, A. Yablokov // IOP Conference Series: materials Science and Engineering (MSE). – IOP Publishing, 2015. – № 93. – P. 1–6.

УДК 621.45

РАСЧЕТ ЭПЮРЫ СТОЯЧИХ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ

МЕДВЕДЕВА П.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

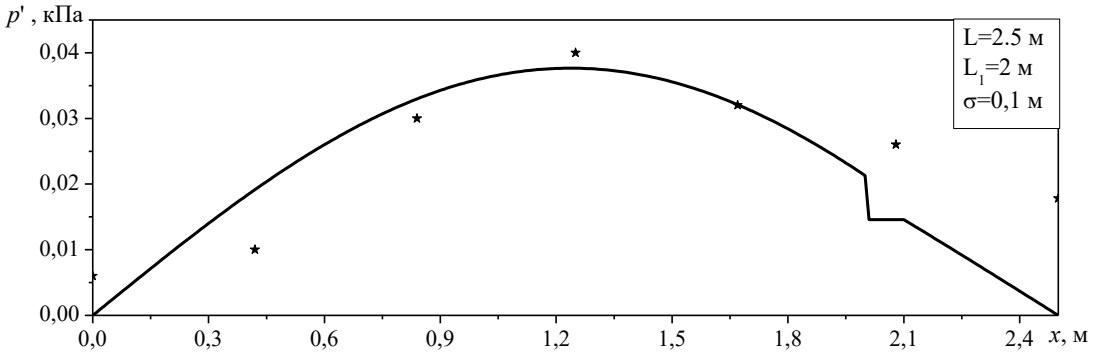
Изучена цилиндрическая труба, в некотором сечении L_1 которой расположен теплоподвод шириной σ. Рассматрено движение одиночной капли наибольшего диаметра, изолированной от остальных капель. Для расчета задана начальная скорость капли, направление движения и ее диаметр. Концы трубы были открытыми, а давления на входе и выходе полагались постоянными и равными атмосферному давлению.

По волновым уравнениям, составленным для «холодной» и «горячей» зон, соотношениям для волновых чисел получены выражения для возмущений давления обеих зон [2]:

$$p_1' = p_{\max}\cos\left(k_1 c_1 t\right)\cos\left(k_1 x\right),$$

$$p_2' = \frac{p_{\max}\cos\left(k_1 L_1\right)\cos\left(k_2 c_2 t\right)\sin\left(k_2\left(x-L\right)\right)}{\chi\sin\left(k_2\left(L_1+\sigma-L\right)\right)}.$$

На рисунке приведены результаты расчетов возмущений давления, а также экспериментальные данные абсолютных значений амплитуд стоячей волны [1]. По построению видно, что точки экспериментальных данных достаточно хорошо следуют за теоретической зависимостью. Переход в виде скачка на теоретической эпюре соответствует зоне подвода тепла σ.



Сравнение теоретических и экспериментальных эпюр стоячих волн давления

При теоретических расчетах предполагалось равенство нулю возмущений давления на концах трубы (вследствие отсутствия излучения энергии на ее открытых концах). По приведенным экспериментальным данным видно, что возмущения давления на концах трубы отличны от нуля.

Это объясняется тем, что колебательный процесс у открытого конца трубы всегда вызывает рассеивание акустической энергии в пространстве вокруг, при этом оно связано не с переходом акустической энергии в тепло, а с ее передачей внешним по отношению к трубе массам окружающей среды. Если даже пренебречь рассеянием энергии, то эффект инерции среды перед устьем трубы сводится к кажущемуся удлинению трубы. Возбуждаемые в трубе частоты несколько ниже тех, которые получаются в случае реализации идеальной схемы.

Литература

1. Кочнева, О. С. Экспериментально-теоретические исследования нестационарного взаимодействи горящей капли с акустическим потоком газа в трубе / О. С. Кочнева, Г. И. Павлов, Ж. М. Сахабутдинов // Вестник технологического университета. – 2003. – № 2. – С. 137–143.

2. Попкова, О. С. Расчет траектории движения и времени жизни горящей капли с акустическим потоком газа в трубке / О. С. Попкова, А. Ш. Шаймухаметова // Наука. Техника. Технологии. – 2014. – № 4. – С. 30–34.

УДК 533.1, 536.75

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ГИДРОХЛОРИДА ЛИДОКАИНА В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

МУХАММАДИЕВ А.Д., КАРИМОВ Т.М., ГИЛЬМУТДИНОВ И.М.,
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. САБИРЗЯНОВ А.Н.

Гидрохлорид лидокаина является наиболее распространенным, местным анестетиком и сердечным депрессантом, используемым в качестве антиаритмического средства. Обладает более интенсивным действием и длительным эффектом, чем новокаин и другие лекарственные средства. Для повышения биодоступности, главным фактором которого является увеличение растворимости активных веществ гидрохлорида лидокаина, проводят исследования в этой области, имеющее важное значение в фармацевтической промышленности.

Данные по растворимости гидрохлорида лидокаина необходимы для проектирования процессов диспергирования с использованием сверхкритических (СК) флюидов, таких как RESS и PGSS.

Данная работа была посвящена исследованию растворимости гидрохлорида лидокаина в сверхкритическом диоксиде углерода в зависимости от температур T = 40 °С и T = 50 °С и давления P = 20 МПа и P = 25 МПа.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

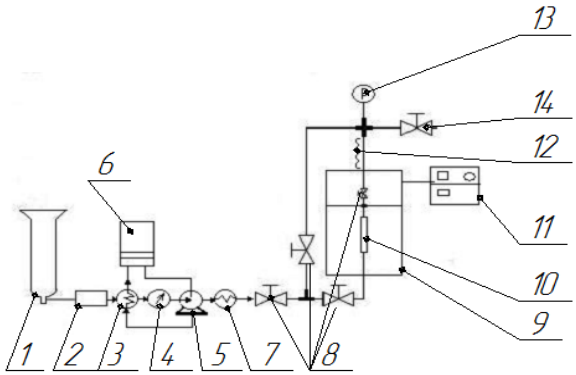


Рис. 1. Принципиальная схема установки: *1* – баллон с CO_2; *2* – фильтр-осушитель; *3* – теплообменник охлаждения; *4* – расходомер; *5* – насос высокого давления; *6* – термостат; *7* – электронагреватель; *8* – вентиль; *9* – воздушный термостат; *10* – экстракционная ячейка; *11* – блок управления температурой и давлением; *12* – нагреватель; *13* – манометр; *14* – дроссельный вентиль

Результаты исследования представлены в виде графиков на рис. 2 и 3.

На рис. 2 представлена зависимость растворимости гидрохлорида лидокаина от давления на изотермах T = 40 ºС и T = 50 ºС.

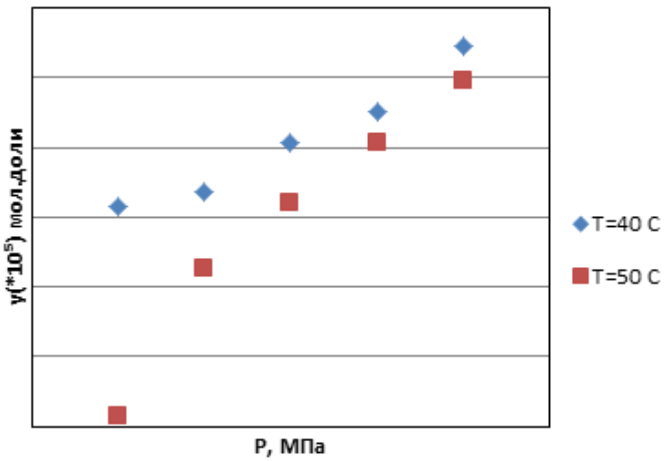


Рис. 2. График зависимости растворимости гидрохлорида лидокаина в СК CO_2 на изотермах T = 40 °С и T = 50 °С

Растворимость гидрохлорида лидокаина увеличивается с ростом давления и, соответственно, плотности СК растворителя. Наибольшее значение растворимости соответствует температуре T = 40 °С при давлении P = 30 МПа.

На рис. 3 представлена зависимость растворимости гидрохлорида лидокаина от температуры на изобарах P = 20 МПа и P = 25 МПа.

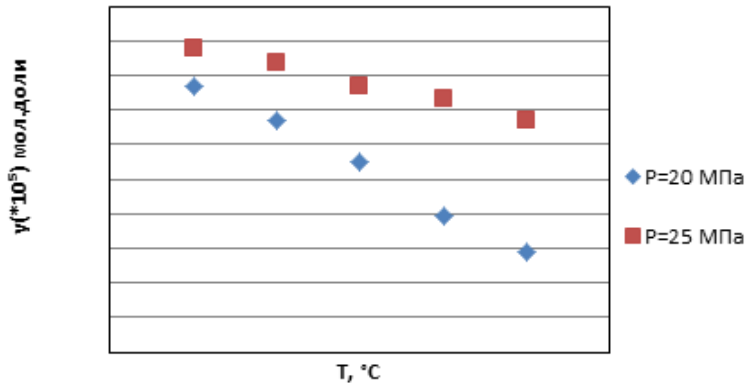


Рис. 3. График зависимости растворимости гидрохлорида лидокаина в СК CO_2 на изобарах P = 20 МПа и P = 25 МПа

Растворимость гидрохлорида лидокаина уменьшается вследствие снижения плотности растворителя и с повышением температуры соответственно, тает его растворяющая способность.

Литература

1. Randy, D. W. The Solubility of Benzocaine; Lidocaine; and Procaine in Liquid and Supercritical Carbon Dioxide / D. W. Randy et al. // J. Chem. Eng., 2004. – Vol. 49. – P. 547–552.

2. Исследование растворимости антрацена в сверхкритическом диоксиде углерода динамическим методом / И. В. Кузнецова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2011. – Т. 14. – № 14.

3. Кузнецова, И. В. Растворимость ибупрофена в сверхкритическом диоксиде углерода / И. В. Кузнецова [и др.] // Сверхкритические флюиды: Теория и практика. – 2012. – 140 с.

УДК 628.85

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS FLUENT

ПРОРОКОВА М.В.; ИГЭУ; г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук; проф. БУХМИРОВ В.В.

При оценке последствий реализации энергосберегающих мероприятий в зданиях, предназначенных для долговременного пребывания людей; важной задачей является прогнозирование параметров микроклимата помещений. Благодаря широкому распространению вычислительной техники

одним из наиболее распространенных методов предсказания значений параметров внутренней среды объектов является математическое моделирование процессов тепло- и массообмена в помещении, основанное на записи и решении системы дифференциальных уравнений неразрывности, переноса энергии, импульса, массы и примесей с комплексом условий однозначности [1]. Для реализации математической модели используются программно-вычислительные комплексы (CFX; Fluent; FlowVision; STAR-CCM; FLOW-3D; GasDynamicsTool; COMSOL Multiphysics и др.).

Одним из наиболее сложных вопросов при решении уравнений математической модели является моделирование турбулентности. В настоящее время разработано и используется большое количество таких моделей различной сложности [2]. В целях определения их типов; позволяющих с большей точностью описать процессы распространения в помещении теплоты и примесей; в ПВК ANSYS Fluent был выполнен расчет температуры воздуха; его скорости и содержания влаги при использовании следующих встроенных в ПВК моделей: ламинарной; стандартной *k*-ε модели турбулентности; ренормализационной *k*-ε модели турбулентности (RNG *k*-ε); реализованной *k*-εмодели турбулентности (Realizable *k*-ε); стандартной *k*-ω-модели турбулентности (Standard *k*-ω); модели турбулентности *k*-ω с переносом касательных напряжений (SST *k*-ω); переходной *k*-*kl*-ω модели турбулентности (*k*-*kl*-ω Transition model); модели турбулентности Спаларта-Аллмараса (Spalart-Allmaras); переходной SST модели турбулентности (Transition SST model); модели Рейнольдсовых напряжений (RSM; Reynolds Stress Model). Результаты расчета были сравнены с данными эксперимента по определению параметров микроклимата в помещении учебного заведения. Для ряда наиболее распространенных моделей турбулентности они приведены на рисунке. Также было учтено время, затрачиваемое на решение задачи.

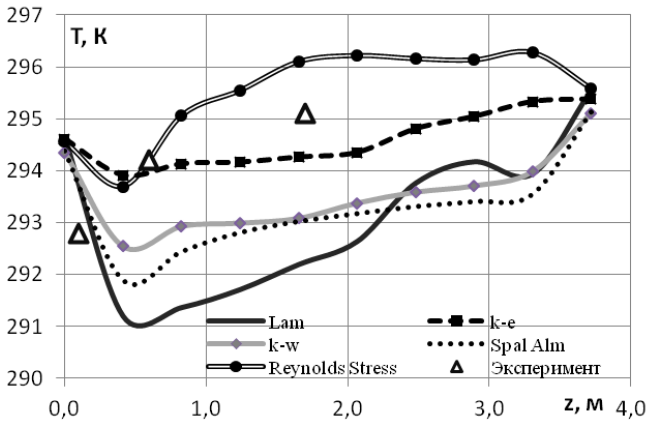


Рис. Температура воздуха в центре помещения по результатам эксперимента и расчета в ANSYS Fluent

Анализ результатов расчета, а также объема машинного времени; затрачиваемого на расчет, показал, что удовлетворительная точность и наименьшие временные затраты соответствуют процессу вычисления при использовании моделей турбулентности семейства *k*-ε.

Литература

1. Гримитлин, А. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования / А. М. Гримитлин. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.

2. Юн, А. А. Расчет и моделирование турбулентных течений с теплообменом, смешением, химическими реакциями и двухфазных течений в программном комплексе FASTEST-3D: учебное пособие / А. А. Юн. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 116 с.

УДК 532.5.032

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

СОКОЛОВА У.А., КГЭУ, г. Казань

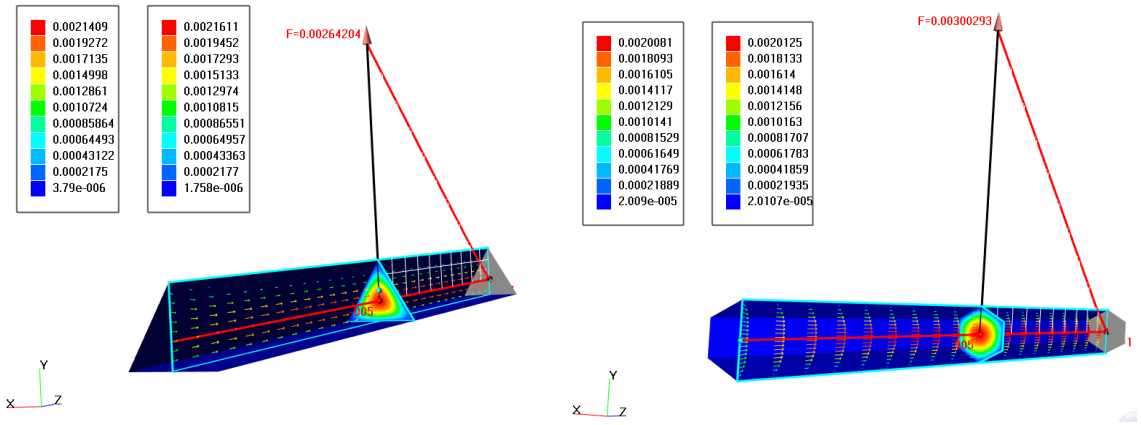
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. ХАРЧУК С.И.

При движении жидкости в каналах некруглого поперечного сечения (прямоугольных, кольцевых и т. п.) значения коэффициента гидравлического сопротивления отличаются от общепринятых для круглых труб, что может играть определяющую роль при проектировании новых установок.

С целью оценки влияния формы сечения на величину гидравлического сопротивления в работе проведено численное моделирование трехмерного ламинарного течения жидкости в каналах различной геометрии: круглых, кольцевых, прямоугольных (с разным соотношением сторон), треугольных и в виде сот. Вычисления выполнены в отечественном лицензионном гидродинамическом пакете FlowVision в рамках программы «Учись студент!» компании «ТЕСИС».

На рис. 1 представлены примеры результатов численного исследования ламинарного течения для двух форм каналов. Течение жидкости направлено вдоль оси *Z*. Длина трубы – 2 м, высота сечения – 0,1 м. На плоскости симметрии вдоль оси канала изображены вектора скоростей,

а в поперечном сечении – цветовые контуры поля скорости. В виде графика даются потери статического давления вдоль канала. В математической модели в качестве граничных условий на входе задавался массовый расход, а на выходе нулевое избыточное давление. На стенках учитывались условия прилипания и непроницаемости.



а *б*

Рис. 1. Примеры реализации математической модели для формы поперечного сечения: *а* – треугольник; *б* – сота

Выполнено также моделирование течения в щелевых каналах и каналах в форме кольцевых щелей, образованных коаксиальными цилиндрами.

Пример расчета ламинарного течения в плоском щелевом зазоре высотой 0,5 мм и длинной 15 мм показан на рис. 2. Движение жидкости направлено вдоль оси *X*. Толщина зазора измеряется по оси *Y*, а вдоль оси *Z* параметры течения не меняются [1].

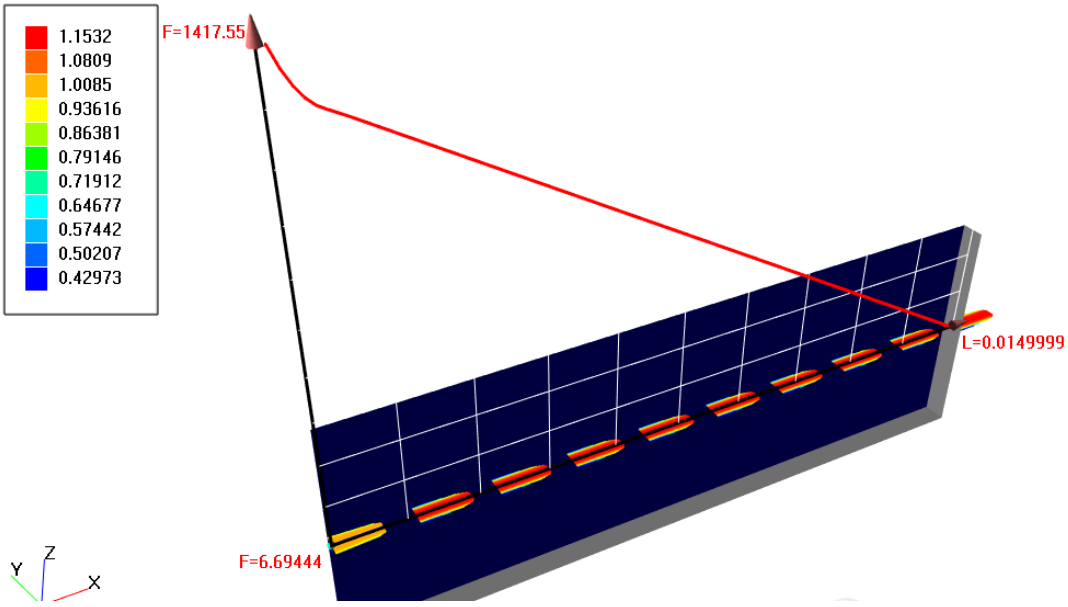


Рис. 2. Распределение скорости и давления вдоль щелевого зазора

Распределение давления представлено вдоль осевой линии плоскости симметрии зазора. Профили скоростей изображены в этой же плоскости для 10 поперечных сечений расчетной области. На графике хорошо виден начальный участок, где скорость на оси меньше, а изменение давления имеет нелинейный характер. После начального участка градиент давления становится постоянным, а профили скоростей одинаковыми. Таким образом, видно, что течение в щелевом зазоре стабилизировалось.

В отличие от каналов конечных размеров для получения количественных зависимостей для щелевого канала (или кольцевой щели) применена формула Дарси–Вейсбаха, где в качестве гидравлического диаметра $D_{\text{г}}$ использована удвоенная высота щели.

Сравнение полученных расчетных значений коэффициента гидравлического сопротивления с опубликованными экспериментальными данными других авторов позволило убедиться в адекватности математической модели [2, 3].

Литература

1. Материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения». В 3 т. / под общ. ред. ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – С. 354–355.

2. Никитин, Г. А. Щелевые и лабиринтные уплотнения гидроагрегатов / Г. А. Никитин. – М.: Машиностроение, 1982. – С. 12–16.

3. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение; 1982. – С. 77–79.

УДК 532.529:532.59:534.2

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ НА ПАРАМЕТРЫ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ГАЗОВЗВЕСИ

СУЛТАНОВА А.Ф., КНИТУ-КАИ, г. Казань

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель ТУКМАКОВ Д.А.

Динамика ударных волн в неоднородных средах является одной из фундаментальных проблем в механике многофазных сред [1−6], а сложность экспериментального исследования этих процессов приводит к необходимости их математического моделирования [3−5]. Исследования ударной

динамики газовзвесей актуальны в связи с вопросами экранирования ударных волн аэрозольными слоями [4], что вызывает необходимость изучения влияния свойств дисперсной фазы на характеристики распространяющихся волн. В том числе представляет интерес оценка влияния дисперсности газовзвеси на процесс образования области, в которой происходит увеличение средней плотности дисперсной фазы – так называемого ρ-слоя [2, 3]. В качестве несущей среды рассматривается вязкий сжимаемый теплопроводный газ, движение которого описывается двумерной системой уравнений Навье–Стокса с учетом межфазного обмена импульсом и энергией с дисперсной фазой. В случае двумерной геометрии течения система уравнений движения несущей среды выглядит следующим образом [3, 6, 8]:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_1 u_1)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho_1 v_1)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial (\rho_1 u_1)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_1 {u_1}^2 + p - \tau_{xx}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho_1 u_1 v_1 - \tau_{xy}\right) = \alpha_2 \frac{\partial p}{\partial x} - F_x,$$

$$\frac{\partial (\rho_1 v_1)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_1 u_1 v_1 - \tau_{xy}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho_1 {v_1}^2 + p - \tau_{yy}\right) = \alpha_2 \frac{\partial p}{\partial y} - F_y$$

$$\frac{\partial (e_1)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\left[e_1 + p - \tau_{xx}\right]u_1 - \tau_{xy} v_1 + \lambda \frac{\partial T_1}{\partial x}\right) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y}\left(\left[e_1 + p - \tau_{yy}\right]v_1 - \tau_{xy} u_1 + \lambda \frac{\partial T_1}{\partial y}\right) =$$

$$= \alpha_2 \frac{\partial}{\partial x}(u_1 p) + \alpha_2 \frac{\partial}{\partial y}(v_1 p) + Q - |F_x|(u_1 - u_2) - |F_y|(v_1 - v_2),$$

$$p = (\gamma - 1)\left(e_1 - \rho_1\left({u_1}^2 + {v_1}^2\right)/2\right), \quad e_1 = \rho_1 I + \rho_1\left({u_1}^2 + {v_1}^2\right)/2$$

$$\tau_{xx} = \mu\left(2\frac{\partial u_1}{\partial x} - \frac{2}{3}D\right), \quad \tau_{yy} = \mu\left(2\frac{\partial v_1}{\partial y} - \frac{2}{3}D\right),$$

$$\tau_{xy} = \mu\left(\frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial v_1}{\partial x}\right), \quad D = \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial v_1}{\partial y} + \frac{v_1}{y}.$$

Здесь ρ_1, u_1, v_1, e_1, λ, μ – плотность, составляющие скорости несущей и дисперсной среды, полная энергия, коэффициенты теплопроводности и вязкости несущей среды. Величины F_x , F_y , Q задаются законами межфазного силового взаимодействия и теплообмена. $I = RT_1/(\gamma - 1)$ – внутренняя энергия газа. В уравнение энергии для несущей фазы входит

коэффициент теплопроводности газа λ и тепловой поток за счет теплообмена между газом и частицей [1, 3]: $Q = 6\alpha_2 Nu\lambda\left(T_1 - T_2\right)/\left(2r\right)^2$, где $Nu = 2r\alpha_2^T/\lambda$ – аппроксимация числа Нуссельта [3], здесь и ниже n – концентрация частиц, α_2^T коэффициент теплообмена с поверхности частицы дисперсной фазы. Температура несущей среды находится из уравнения: $T_1 = \left(\gamma - 1\right)\left(e_1/\rho_1\text{-}0.5\left(u_1^2 + v_1^2\right)\right)/R$. Движение дисперсной фазы описывается уравнениями сохранений средней плотности твердой фракции, составляющих импульса и тепловой энергии. На границах расчетной области задавались условия прилипания для составляющих скорости несущей и дисперсной фазы и граничные условия Неймана для остальных газодинамических функций обоих фаз. Системы уравнений (1) – (2) решались численно с помощью явной конечно-разностной схемы [7–10].

Работа выполнена при финансовой поддержке грата президента РФ (номер гранта – МК-3497.2018.1).

Литература

1. Сальянов, Ф. А. Основы физики низкотемпературной плазмы, плазменных аппаратов и технологий / Ф. А. Сальянов. – М.: Наука, 1997.

2. Высоковольтные электротехнологии: учебное пособие по курсу «Основы электротехнологии» / под ред. И. П. Верещагина. – М.: МЭИ, 1999.

3. Кутушев, А. Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах / А. Г. Кутушев. – СПб.: Изд-во «Недра», 2003.

4. Тукмаков, А. Л. Численная модель электрогазодинамики аэродисперсной системы на основе уравнений движения двухскоростной двухтемпературной газовзвеси / А. Л. Тукмаков // Прикладная механика и техническая физика. – 2015. – Т. 56. – № 4. – С. 112–120.

5. Тукмаков, А. Л. Динамика заряженной газовзвеси с начальным пространственно неравномерным распределением средней плотности дисперсной фазы при переходе к равновесному состоянию / А. Л. Тукмаков, Д. А. Тукмаков // Теплофизика высоких температур. – 2017. – Т. 55. – № 4. – С. 509–512.

6. Фальковский, О. И. Техническая электродинамика / О. И. Фальковский. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009.

7. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей / К. Флетчер. – Т. 2. – М.: Изд-во «Мир», 1991.

8. Steger, J. L. Implicit Finite-Difference Simulation of Flow about Arbitrary Two-Dimensional Geometries / J. L. Steger // AIAA J. – 1978. – Vol. 16. – № 7. – P. 679−686.

УДК 662.613

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

ФАЙЗУЛЛИНА А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

Основным источником энергии для использования в промышленности является органическое ископаемое топливо, оно также применяется для транспортных двигателей.

В процессе горения образуются продукты сгорания, которые оказывают влияние на энергетические и экономические показатели работы теплотехнических установок.

В качестве примера приведем расчет природного газа Тюменского месторождения.

Расчет состоит из трех этапов [2]:

1. Определение расхода кислорода.

Для этого расчета составляют реакции окисления отдельных компонентов топлива, далее из стехиометрических соотношений, атомных и молекулярных масс рассчитывают расход кислорода.

Коэффициент избытка воздуха определяют из отношения действительного расхода воздуха $G_д$ к теоретическому $G_м$:

$$\alpha = G_д / G_м. \quad (1)$$

2. Нахождение из стехеометрических соотношений реакций взаимодействия горючих составных частей топлива с кислородом воздуха количества и состава дымовых газов, с учетом закона равенства массы реагирующих веществ и продуктов реакции.

3. Расчет температуры горения топлива и необходимого избытка воздуха.

При неправильном расчете топливо не сгорает до полной степени окисления его составных частей, появляются продукты сгорания, приносящие вред экологии, все это приводит к понижению тепловых эффектов

процесса горения, тепловым потерям вследствие химического недожёга и нарушениям работы установки в целом, часть тепла может теряться через ограждающие конструкции топочного устройства.

Для расчета исходными данными являются:

1. Объемный состав газа (по справочным данным), %:

CH_4 – 95,5; C_2H_6 – 0,8; C_3H_8 – 0,4; C_4H_{10} – 0,08; C_5H_{12} – 0,00; CO_2 – 0,22; N_2 – 3,0. Всего 100 %.

2. Влагосодержание воздуха d = 10 г на 1 кг сухого воздуха.

3. Требуемая температура обжига $t_П$ = 1150 °С.

Цель расчета – определить количество, влагосодержание, энтальпию дымовых газов и расход воздуха на горение топлива.

Для вычисления необходимого коэффициента избытка воздуха составим уравнение теплового баланса горения 1 м^3 газа по формуле [1]:

$$Q_H^p + V_в^0 \cdot C_в \cdot t_в \cdot \alpha + C_m t_m = V_д^0 C_д \cdot t_k \cdot \alpha, \qquad (2)$$

где Q_H^p = 36400 кДж/м^3; $V_в^0$ = 9,498 м^3/м^3; $C_в$ = 1,3 кДж/м^3 °С; $t_в$ = 10 °С и $t_т$ = 10 °С, $C_т$ = 1,7 кДж/м^3°С; $V_д^0$ = 10,5 м^3/м^3.

Температуру горения определим из соотношения

$$t_k = t_П / \eta_k, \qquad (3)$$

где $t_П$ – требуемая практическая температура горения, назначаемая по условиям технологии; η_k = 0,8.

Для расчетов объемной теплоемкости продуктов горения (кДж/м^{3}С) воспользуемся приближенной формулой [1]:

$$C_д = 0,335 + 0,0000755\, t_д = 1,464 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{С)}. \qquad (4)$$

Тогда по уравнению (1):

$$\alpha = \frac{Q_H^p + t_Т \cdot C_T}{V_д^0 C_д \cdot t_k - V_в^0 \cdot C_в \cdot t_в} = \frac{36400 + 10 \cdot 1,7}{10,7 \cdot 1437,5 \cdot 1,464 - 9,50 \cdot 1,3 \cdot 10} = 1,6, \qquad (5)$$

$$100 \cdot V_в = 100 \cdot V_в^0 \cdot \alpha = 949,83 \cdot 1,6 = 1519,73 \text{ м}^3. \qquad (6)$$

Определяем влагосодержание дымовых газов на 1 кг сухого воздуха по формуле:

$$d_д = G_{H_2O} / L_{сд} = 95,8 \text{ г}, \qquad (7)$$

где G_{H_2O} =1,754 кг/м^3; $L_{сд}$ = 18,43 кг.

Энтальпию продуктов горения, отнесенную к 1 кг сухих дымовых газов, находят по формуле:

$$I_{\text{д}} = \frac{Q_H^p + V_{\text{в}}^0 \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} \cdot \alpha + t_{\text{т}} \cdot C_T}{L_{\text{сд}}} = 1990 \text{ кДж/К.} \quad (8)$$

Литература

1. Михайловский, В. П. Расчеты горения топлив, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных и железобетонных изделий: учебное пособие / В. П. Михайловский, Э.Н. Мартемьянова, В. В. Ушаков. – 2011. 264 с.

2. Попкова, О. С. Определение параметров для эффективного горения малосернистого мазута / О. С. Попкова, А. И. Файзуллина, К. Х. Гильфанов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 132.

УДК 621.43.056

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КАПЛИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ В ТОПЛИВНОМ ФАКЕЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ФОРСУНКИ

ХАЙРУТДИНОВ М.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

Расчеты координат при движении капель необходимы для дальнейшего изучения испарения и распределения топлива в потоке газа. После завершения распада струи возникшая система капель движется по определенным траекториям, образуя топливный факел. При первоначальных расчетах рассматривали изолированную каплю. Полученные результаты являются исходными для исследования движения системы капель в топливном факеле. Кроме того, они используются при расчетах, связанных с тепло- и массообменом капель [2].

Для изучения движения капли в среде с сопротивлением рассматривается перемещение центра масс твердого шара. Изменения формы вследствие деформации и коэффициента сопротивления капли необходимо учитывать в уравнении движения введением функции, вид которой определяется экспериментально [1]

$$\psi(D) = e^{0,03D^{1,5}},$$

где критерий деформации $D = \rho_{\text{в}} u^2 a / \sigma$.

Для дальнейшего расчета координаты движения капли необходимо определить температуру ее испаряющегося слоя, которую вычисляют при решении задачи о неравновесном испарении при допущении, что нагревается лишь наружный слой этой капли. В первом приближении для определения температуры можно воспользоваться экспериментальными данными [1].

Уравнения траектории капли в абсолютных координатах в виде проекций абсолютной скорости капли на оси *x*, *y*:

$$v_x = u\cos\gamma + \omega; \quad v_y = u\sin\gamma; \quad \frac{dx}{d\tau} = \frac{dL}{d\tau}\cos\gamma + \omega; \quad \frac{dy}{d\tau} = \frac{dL}{d\tau}\sin\gamma.$$

где L – координата капли, движущейся вместе с потоком со скоростью ω.

После интегрирования получим:

$$x = L\cos\gamma + \omega\tau; \qquad y_p = L\sin\gamma.$$

Уравнения движения в топливном факеле будут отличаться от условий движения одиночной капли. По результатам экспериментов по измерению распределения капель факела в потоке [1] можно сделать вывод о том, что наблюдается отличие между траекториями движения, полученными расчетным способом и экспериментом, из-за взаимодействия топливного факела с обтекающим потоком.

Таким образом, в результате этого взаимодействия траектории упорядоченного движения капель факела отличаются от расчетных, подсчитанных для условия движения одиночной капли. Из сопоставления расчетных данных по $y(a_i, x)$ с экспериментальными было оценено влияние потока на топливный факел и на изменение траекторий капель [1].

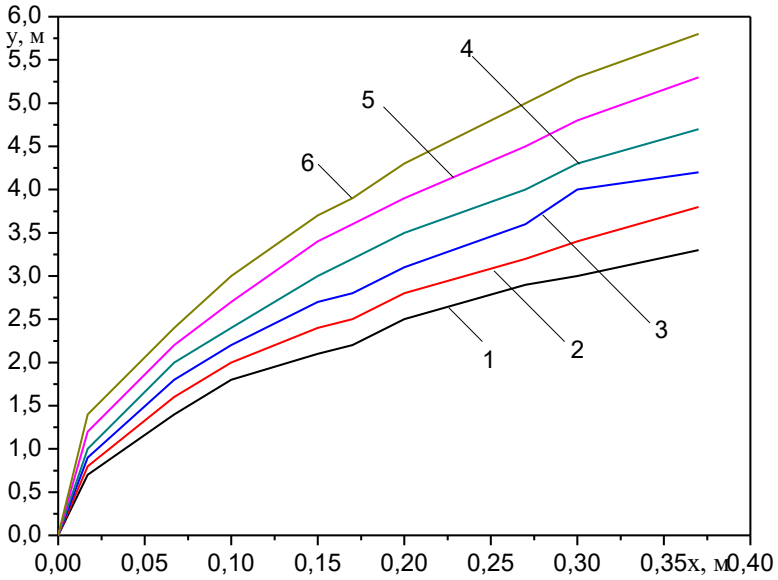
Формулы для определения траекторий капель, движущихся в условиях топливного факела, имеют вид:

$$y(a_i, x) = y_p(a, x) + \Delta y,$$

где Δy – экспериментальная поправка к расчетному значению координаты капли $y_p(a, x)$. Для центробежной форсунки при k [0,25–0,45], используя экспериментальные данные и поправку Δy = 3,06, можно рассчитать значения координаты y для каждой фракции размеров капель a_i:

$$y(a_i, x) = y_{pi} + 0{,}049 \cdot (1 - 1{,}95k).$$

На рисунке приведены графики траекторий движения капель.



Траектории движения капель: *1* – y_{pi} = 20 мкм; *2* – y_{pi} = 40 мкм; *3* – y_{pi} = 60 мкм; *4* – y_{pi} = 80 мкм; *5* – y_{pi} = 100 мкм; *6* – y_{pi} = 120 мкм

Литература

1. Математические модели и расчет распределения топлива в турбулентном потоке воздуха за центробежной форсункой: учебное пособие / С. В. Лукачев [и др.]. – 2011. – 115 с.

2. Численное исследование спектра распыливания центробежной форсунки / О. С. Попкова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10(134).

УДК 66.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ОТ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА К ПОТОКУ ГАЗА

ХАФИЗОВА А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преподаватель КРУГЛОВ Л.В.

Применение систем оборотного водоснабжения и модернизация существующих конструкций являются одним из перспективных направлений в повышении эффективности работы производства. В большинстве случаев на энергетических предприятиях для охлаждения оборотного водоснабжения используются вентиляторные градирни.

Охлаждение воды в градирнях происходит в оросителе, во многом именно от него зависит степень охлаждения жидкости. Насадки для подобных устройств имеют различные конструкции, которые обладают рядом достоинств и недостатков. Наиболее предпочтительными в использовании являются струйно-пленочные контактные устройства (патент № 165690 РФ). Они отличаются низким гидравлическим сопротивлением, хорошей смачиваемостью и большой удельной площадью поверхности контакта жидкости и газа [1].

Основными показателями эффективности струйно-пленочных контактных устройств являются его гидравлическое сопротивление и площадь контакта двух фаз.

Процесс тепломассообмена в контактных устройствах складывается из испарения части воды и передачи тепла от нее к воздуху при их контакте.

Проводилось численное моделирование на примере теплоотдачи от стенки к воздуху и от стенки к азоту. Температура газов принималась 20 °С, температура стенки – 40 °С. Скорость газов варьировалась в диапазоне от 0,2 до 3 м/с, что соответствует значениям в действующих колонных аппаратах. В расчетах принималось, что сливные стаканы были полностью заполнены жидкостью. Исследуемое устройство состояло из 2-х ступеней. Ширина сливных стаканов задавалась равной 30, 60 и 120 мм.

Исследования показали, что существуют два режима теплообмена. Критическое число Рейнольдса, позволяющее определить эту границу, находится в диапазоне значений 4000–5000.

Из рисунка видно, что зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса степенная. Значение множителя находится в диапазоне 0,0278–0,0327, а диапазон значений показателя степени 0,7835–0,8012. Сопоставим полученные результаты с известным уравнением [2] $Nu = 0{,}037\ Re^{0,8}Pr^{0,4}$.

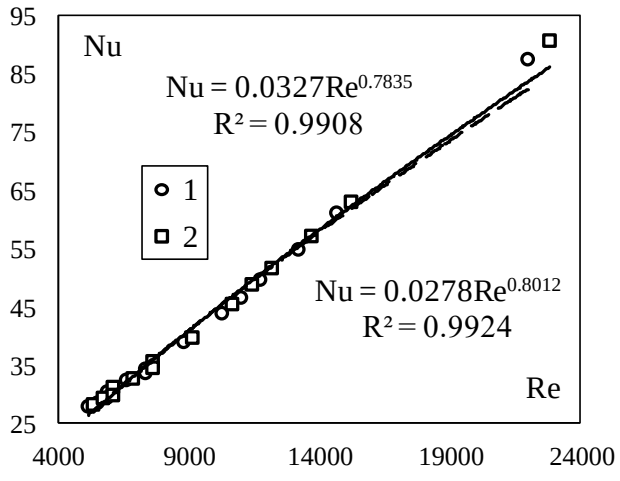


Рис. 1 Зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса при турбулентном режиме движения газов: *1* – воздух; *2* – азот

Данные, вычисленные по этому уравнению, достаточно хорошо согласуются с данными, полученными в результате настоящих исследований в диапазоне чисел Рейнольдса 5000–25000. Среднеквадратичное отклонение не более 18 %.

При значениях числа Рейнольдса менее 3000 и более 24000 классическое уравнение для расчета теплоотдачи между пластиной и жидкостью дает завышенные результаты.

Следует отметить, что предлагаемые струйно-пленочные контактные устройства с приемлемыми энергетическими затратами работают при значениях чисел Рейнольдса менее 25000. Поэтому в данных исследованиях необходимы зависимости при $Re < 25000$.

При ламинарном режиме уравнения для расчета числа Нуссельта при обтекании пластины дают некорректные результаты. Следовательно, необходимо получение уравнений, позволяющих производить расчеты с достаточной точностью.

Литература

1. Алимова, Л. А. Применение численного метода для исследования гидродинамики градирни / Л. А. Алимова // Молодой ученый. – 2016. – № 8. – С. 172–174.

2. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 592 с

3. Хусаинов, Р. Р. Определение качества фильтра на основе расчета перепада давления газа и эффективности осаждения аэрозольных частиц / Р. Р. Хусаинов.

УДК 532.546

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

ХУСАИНОВ Р.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. СОЛОВЬЕВА О.В.

Использование высокопористых ячеистых материалов с развитой площадью поверхности представляет собой важный прорыв во многих промышленных применениях. Среди различных пористых сред металлические высокопористые ячеистые материалы демонстрируют отличительные

особенности: низкая плотность, умеренная жесткость, высокая прочность и высокое отношение плотности к объему, вследствие чего они активно используются в различных приложениях, таких как охлаждение микроэлектроники, топливных элементов и компактных теплообменников. Для таких приложений знание значения перепада давления является ключевой проблемой для контроля потока, совершенствования передачи тепла, планирования и развития процессов химической технологии [1].

Моделирование трехмерной структуры пористых сред и определение соответствующих геометрических характерных размеров необходимо для дальнейшего применения в химической инженерии. В работе [2] для исследования падения давления в высокопористых ячеистых материалах была использована комбинация микрокомпьютерной томографии, имитационного моделирования и вычислительной гидродинамики (CFD). Анализ охватывает ряд режимов потока и направлен на определение влияния важных морфологических параметров на перепад давления. Технология микрокомпьютерной томографии наряду с подробным CFD-моделированием позволяет исследовать явления, происходящие в реальных микроструктурах пористого материала. Более того, с помощью инструментов обработки изображений геометрию можно искусственно модифицировать для того, чтобы исследовать эффекты математического преобразования геометрических параметров реальной высокопористой среды, по одному отдельному параметру (к примеру, варьируя размер пор, не изменяя пористости среды). Для анализа результатов были определены безразмерные коэффициенты с целью описания перепада давления в зависимости от числа Рейнольдса.

Механическое, термомеханическое и жидкостное динамическое моделирование высокопористых ячеистых материалов требует точной геометрической модели и осуществляется в работе [3]. Обычно модели основаны на данных компьютерной томографии, которые не позволяют анализировать систематическое изменение и оптимизацию геометрии. С другой стороны, компьютерные модели в основном собираются из примитивных объектов, таких как цилиндры. Это не учитывает изменения толщины ребер и округления узлов, которые наблюдаются в реальных высокопористых ячеистых материалах. Авторами статьи [3] представлен подход к созданию моделей керамических высокопористых ячеистых материалов с использованием простых объектов переменной толщины, которые задаются неявными функциями. Этот подход может также учитывать полости внутри перегородок и узлов, которые существуют во многих

реальных структурах пены. Качество генерируемых моделей высокопористой среды проверяется с применением данных компьютерной томографии реальных пористых сред.

Предложенная формулировка позволяет связать свойство проницаемости высокопористого ячеистого материала с его морфологией вне зависимости от свойств жидкости или эффективного характерного размера пористой структуры (размера ячеек пор).

Аэрозольные фильтры позволяют удалять субмикронные, микронные частицы с высокой эффективностью. Волокнистые фильтры, такие как фильтры Петрянова или HEPA – фильтры, являются приборами тонкой очистки газов. Высокопористые ячеистые материалы применяют в качестве предфильтров и устанавливают до фильтров тонкой очистки, поскольку они улавливают более крупные частицы, а также обладают низким коэффициентом сопротивления. Правильно созданный фильтр (как тонкой, так и предварительной очисток) в первую очередь, должен обеспечивать высокую эффективность удаления аэрозольных частиц из потока воздуха, обеспечивая как можно более низкое значение перепада давления. Оба этих критических показателя зависят от таких параметров, как качество фильтра, пористость, диаметр волокон. Фактор качества QF при этом определяется как

$$QF = \frac{E}{\Delta p},$$

где E – эффективность осаждения частиц, Δp – перепад давления.

Это общепринятый количественный критерий для сравнения различных фильтров [1, 2]. Однако со временем функционирования фильтра данные параметры могут изменяться, поэтому наиболее правильным для оценки качества является коэффициент его полезности *FUF*, предложенный авторами работы [3].

Нами была создана модель высокопористого ячеистого материала, представляющая собой фильтр предварительной очистки. На основе расчета перепада давления и эффективности частиц, проведенного в программном комплексе ANSYS Fluent, было получено значение качества фильтра в зависимости от пористости материала и формы волокон. Определены параметры, вносящие наибольший вклад в изменение значения качества фильтра.

Литература

1. Brown, R. C. Air filtration: an integrated approach to the theory and applications of fibrous filters / R. C. Brown. – Pergamon, 1993.

2. Dorman, R. G. Filtration / R. G. Dorman // Aerosol science. – 1966. – P. 192–222.

3. Podgórski, A. On the transport, deposition and filtration of aerosol particles in fibrous filters: selected problems / A. Podgórski // Prace Wydziału Inżynierii Chemiczneji Procesowej Politechniki Warszawskiej. – 2002. – Vol. 28. – №. 1. – P. 3–207.

УДК 532.546

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА В ГРАНУЛИРОВАННЫХ И ПОРИСТЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

ХУСАИНОВ Р.Р., КГЭУ, АНТИПИН А.В., КФУ, г. Казань

Науч. рук.: канд. физ.-мат. наук, доц. СОЛОВЬЕВА О.В.;
канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель СОЛОВЬЕВ С.А.

Гранулированные и пористые катализаторы широко используются в химической технологии [1]. Экспериментальные исследования массообменных процессов, как правило, дополняются детальным численным моделированием [2, 3]. Процессы селективного гидрирования ацетиленовых и диеновых углеводородов в олефинсодержащих потоках необходимы для получения чистых олефинов. Так, этан-этиленовая фракция состоит из этилена (85 %), этана (13,5 %) и ацетилена (1,5 %). Нежелательным компонентом в данной фракции является ацетилен. Его присутствие приводит к отравлению катализаторов полимеризации и ухудшению характеристик полимеров, что обуславливает жёсткие требования по его концентрации в этиленовом сырье (≤ 10 ppm). Поэтому применяют процессы каталитического гидрирования с использованием палладиевых катализаторов. При этом необходимо провести полное гидрирование ацетилена и максимальным его превращением в этилен. Это даст дополнительный прирост последнего.

В последние годы с ростом вычислительных возможностей появляются работы, посвященные детальному компьютерному моделированию пористых сред с использованием различных упрощенных моделей [4]. В одной из них представлена мрдель керамического высокопористого ячеистого материала [5].

Экспериментальные исследования проведены на реакторе, который представляет собой цилиндр диаметром 2 см. Подача сырья (смесь ацетилена и водорода) в реактор в случае газофазных процессов производится сверху вниз. Рассматриваемая реакция протекает с выделением тепла. Для поддержания постоянной температуры обеспечена система водного охлаждения.

Использованы катализаторы двух типов, в качестве активного компонента – палладий. Первый тип катализатора – гранулы цилиндрической формы, образующие неподвижный плотный слой. В качестве носителя применен оксид алюминия. Размер гранул: высота – 4–5 мм, диаметр – 3 мм. Второй тип катализатора – носитель в виде высокопористого ячеистого материала, изготовленный из металла или оксида металла, характеризующийся пористостью не менее 85 %, средним размером ячеек 2–3 мм. На нем закреплён слой оксида алюминия с образованием вторичного носителя, на котором последовательно может быть размещен промотор и (или) активный компонент – палладий. Вторичный носитель оксида алюминия в общем составе катализатора составляет не менее 5 % массы.

На основе проведенных экспериментов построена математическая модель протекающих химических реакций. Расчеты движения газа в реакторе проведены в CFD – комплексе ANSYS Fluent. На входе задана подача ацетилена и водорода. Выбрана основная реакция – образование этилена, а также побочная нежелательная реакция – образование этана. Реакции реализованы в форме процессов массопереноса и теплопереноса и подключены в виде пользовательских функций (UDF). С помощью параметрических расчетов определены оптимальные варианты работы реакторов, а также скорость подачи сырья, размер гранул для неподвижного слоя и размер ячеек и пористость для высокопористого материала.

Литература

1. Mass transfer and pressuredrop in ceramic foams: A description for different pore sizes and porosities / G.I. Garrido et al. // Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63. – P. 5202–5217.

2. CFD characterization of flowregimes inside open cell foam substrates / Della Torre A. et al. // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2014. – Vol. 50. – P. 72–82.

3. Geometrical modelling of foam structures using implicit functions / J. Storm et al. // International Journalof Solids and Structures. – 2013. – Vol. 50. – № 3. – P. 548–555.

4. CFD modeling of catalytic reactions in open-cell foam substrates / Della Torre, A. et al. // Computers & Chemical Engineering. – P. 55–63.

5. Mitrichev, I. I. Computer simulation of gasodynamic conditions in channels of open cell foam / I. I. Mitrichev, E. M. Koltsova, A. V. Zhena // Fundamental research. – 2012. – Vol. 11. – P. 440–446.

УДК 662.611

ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА ОТ ДАВЛЕНИЯ

ХУСНУТДИНОВ Р.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

При расчете камер сгорания необходимо определять скорость распространения пламени в зависимости от температуры на ее входе.

Процесс турбулентного горения очень сложен в литературе приведены экспериментальные и расчетные данные его характеристик в турбулентном потоке однородной смеси.

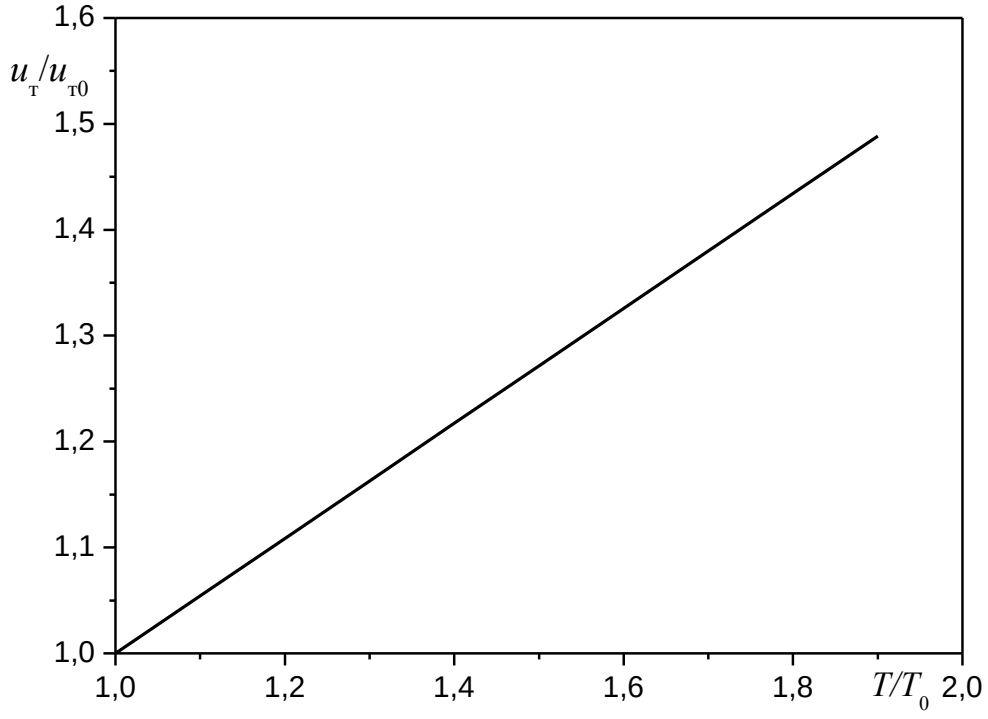
По экспериментальным данным и полуэмпирическим формулам, приведенным в работе [1], можно определить постоянные коэффициенты и получить соотношения, позволяющие определить зависимость скорости распространения пламени от температуры. Тогда изменение скорости распространения пламени в зависимости от температуры, принимая, что пульсационная скорость и масштаб турбулентности не зависят от неё, выразится в виде:

$$\frac{u_T}{u_{T_0}} = \frac{1+\frac{\Delta T}{T}u_{н0}\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,8} + \frac{w'}{\sqrt{\ln\left(1+\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,8}\right)}}}{\left(1+\frac{\Delta T}{T}\right)u_{н0} + \frac{w'}{\sqrt{\ln\left(1+\frac{w'}{u_{н0}}\right)}}}, \qquad (1)$$

где $u_н \sim p^{-0,2}$; $w' \sim p^{0,3}$; $l_0 \sim p^{-0,5}$.

При малых $w'/u_н$ эта зависимость сводится к виду $u_T \approx T^{0,8}$.

На рис. 1 построена зависимость скорости распространения пламени от температуры.



Зависимость скорости распространения пламени от температуры

Зависимость времени горения от температуры и давления в турбулентном потоке однородной смеси можно представить выражением

$$\frac{t_П}{T_{П_0}} = \frac{\ln\left(1+\frac{w'}{u_{н0}}\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,8}\right)}{\ln\left(1+\frac{w'}{u_{н0}}\right)}, \qquad (2)$$

$$\frac{t_П}{T_{П_0}} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{-0,8} \frac{\ln\left(1+\left(\frac{w'}{u_н}\right)_0\left(\frac{p}{p_0}\right)^{0,5}\right)}{\ln\left(1+\left(\frac{w'}{u_н}\right)_0\right)}.$$

Время горения сильно зависит от температуры, эта зависимость ослабевает с ростом отношения $\frac{w'}{u_н}$.

Изменение горения в зависимости от давления (рис. 2) приближенно можно выразить зависимостью $\frac{t_П}{T_{П_0}} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{-r}$, где $r \approx 0,7$.

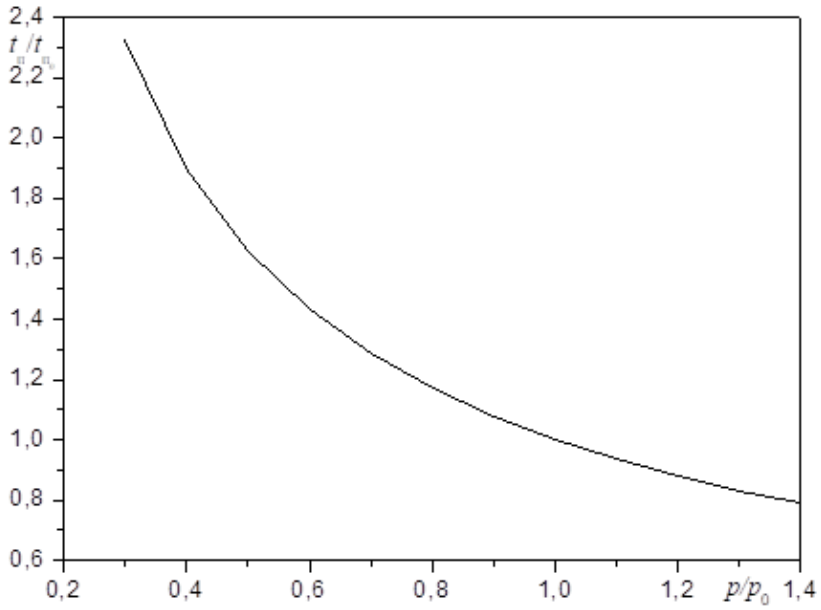


Рис. 2. Изменение горения в зависимости от давления

Приведенные выражения(1) и (2)можно использовать для приблизительных расчетов камеры сгорания.

Литература

1. Ильяшенко, С. М. Теория и расчет прямоточных камер сгорания / С. М. Ильяшенко, А. В. Талантов. – 1964.

УДК 621.45

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

ЧУГУНОВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

Наиболее распространённым способом интенсификации горения топлива является увеличение скорости распространения пламени. Для достижения этого способа следует провести предварительный подогрев воздуха или изменить химический состав смеси «топливо–воздух». Также для интенсификации процесса горения возможно обогащение воздуха кислородом. Однако это может привести не только к сокращению объемов продуктов сгорания, но и к повышению температуры горения [1, 2].

Следующим способом для интенсификации горения газового топлива является смесеобразование, турбулизация, а также воздействие пульсациями и акустическими колебаниями. Интенсификацию горения топлива можно осуществить, увеличив его площадь.

В современных устройствах теплотехники газообразное топливо сжигают в топочной камере, туда же поступает воздух, необходимый для горения. Пламя распространяется в турбулентной горючей смеси с интенсификацией при увеличении скорости, турбулентности и поверхности пламени.

Скорость химической реакции повышается с ростом температуры и концентрации веществ. Однако необходимо учитывать конструкцию установок, а также образование тяжелых углеводородов при термическом разложении.

Для работы топок парогенераторов важна интенсивность, зависящая только от тепло- и массообмена в факеле из-за больших потоков воздуха и газа. Поэтому здесь целесообразнее организовать систему струй повышенной турбулентности в ядре факела и умеренной турбулентности у устья горелок. Это можно достичь только за счет комбинации горелочных устройств.

Такой вид горения называют микрофакельным, его получают наложением металлической решетки на устье горелки. Проходя через решетку, газовоздушная смесь разобьется на мелкие струйки, образуется несколько очагов зажигания и конусов горения. В этом случае очагами зажигания будут вихревые зоны продуктов сгорания высокой температуры. Этот вид горения является ламинарным.

При турбулентном горении (более эффективном), фронт пламени имеет искривления и размывается, как следствие при этом увеличивается его поверхность, повышается скорость распространения пламени, а также протяженность зоны горения, но сохраняется конусообразная форма факела. В случае турбулентного горения при уменьшении диаметра горелки возрастает тепловое напряжение объема факела.

Если организовать развитое и устойчивое зажигание смеси с помощью дробления потока на мелкие струйки и очаги, получим развитую поверхность горения, уменьшим инертный объем факела и увеличим тепловое напряжение его объема.

Форма и геометрические размеры поверхности пламени зависят от способа зажигания, а также характера движения газовой смеси и вида горелочного устройства.

В теплотехнических установках широко применяются круглые горелки, однако при этом сложно организовать интенсификацию данного процесса за счет уменьшения их диаметра, так как это бы привело к увеличению их количества, а конструктивно это может оказаться нецелесообразным.

Для интенсификации горения лучше использовать щелевые горелки, так как при одинаковой площади выходного сечения их ширина меньше диаметра круглой горелки. В узких горелках воспламенение быстрее распространяется до оси струи и обеспечивает меньшую длину факела. Таким образом, развитое зажигание может быть осуществлено путем увеличения периметра воспламенения.

Развитое зажигание возможно получить, разработав оптимальную конструкцию горелки, а также при рациональной организации аэродинамики горелки и топки. При создании в газовой смеси закрученного движения можно на оси струи получить зону разряжения, в которую будет направляться мощный поток высоконагретых продуктов сгорания, и далее двигаться в корень факела с его внутренней стороны. Тогда факел примет вид расходящегося конуса, зажигание в котором осуществляется по периферии горелки и внутренней поверхности факела.

Таким образом, для организации интенсификации горения газовой смеси необходимо организовать разбивание потока на струйки для устойчивого зажигания смеси. В этом случае увеличивается поверхность пламени, возрастает температура. Однако при этом необходимо подобрать вид горелочного устройства.

Литература

1. Ларионов, В. М. Автоколебания газа в установках с горением / В. М. Ларионов, Р. Г. Зарипов. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003. – 227 с.

2. Пашков, Л. Т. Основы теории горения / Л. Т. Пашков. – М.: МЭИ(ТУ), 2002. – 125 с.

УДК 532.546 : 624.131.63

РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА АСПИРАЦИИ ЧАСТИЦ В КОНИЧЕСКОМ ПРОБООТБОРНИКЕ

ШАФИКОВ Д.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. СОЛОВЬЁВА О.В.

Мониторинг воздушных загрязнений может быть осуществлен при использовании пассивных пробоотборников на беспилотных летательных аппаратах [1]. В работе исследуется аэрозольный пробоотборник конической формы с внутренним фильтром, течение в котором обеспечивается

давлением набегающего потока. Он функционирует в диапазоне скоростей 70–120 км/час. Взвешенные частицы осаждаются на фильтре внутри пробоотборника. Скорость потока воздуха в области фильтра регулируется изменением проницаемости материала. Коническое расширение внутреннего воздушного потока приводит к уменьшению скорости воздуха перед фильтром. Описанный пассивный конический пробоотборник можно также использовать для отбора проб грубодисперсных аэрозолей. В этом случае концентрация частиц в невозмущенном потоке и в зоне фильтра может отличаться вследствие проявления их инерционности.

Рассматривается обтекание потоком газа конического пассивного пробоотборника с пористым экраном (фильтром) внутри. Экран радиусом H расположен в самой широкой части аппарата, где средняя скорость потока по сечению будет наименьшей. На рисунке приведена схема носовой части пробоотборника. Течение считается осесимметричным, геометрия корпуса имеет две образующие: конус с большим наклоном образующей (с соответствующим углом между ней и основанием α_1), через который внутрь попадает поток, и конус с малым наклоном образующей (с углом α_2) для выравнивания потока перед фильтром. Хвостовая часть пробоотборника может быть разной формы для обеспечения протекания потока газа внутри (рисунок).

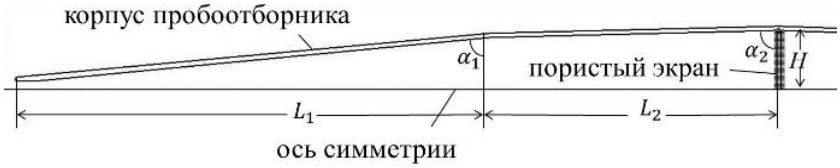


Схема носовой части пассивного пробоотборника

В работе развита математическая модель и былипроведены численные исследования коэффициента аспирации аэрозоля в пассивном пробоотборнике. При отсутствии влияния частиц на газовый поток несущая среда рассчитывается в приближении потенциального течения несжимаемого газа на основе метода граничных элементов. Уравнения движения частиц вычисляются в найденном поле скоростей для определения коэффициента аспирации. Исследована зависимость коэффициента аспирации от числа Стокса при различной проницаемости фильтра и угла раствора пробоотборника.

Литература

1. Radiation Protection Dosimetry / K. Perajarvi et al. – 2008. – P. 328–333.

Секция 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 697.3

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

АЛИМКУЛОВА С.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

В настоящее время из-за неэффективного теплоснабжения происходит значительный переизбыток как энергетического, так и материального 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. В последние годы появилось достаточно много способов решения данной проблемы. Однако большинство из них имеет меньшую продуктивность в сравнении с установкой автоматизированного индивидуального теплового пункта [3].

Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт (АИТП) – это комплекс устройств, разработанный в целях рационального использования и эффективного распределения тепловой энергии в жилых и общественных зданиях и центрального качественно-количественного регулирования теплоносителя, для нужд отопления исходя из погодных условий и требований потребителей. Такой АИТП предоставляет возможность осуществлять необходимый сбор и хранение информации о текущем состоянии оборудования, перенаправлять данные в систему, обеспечивать регулирование и управление технологическими параметрами работы тепловых пунктов в автоматическом режиме и решать другие задачи.

АИТП дает возможность перехода от четырехтрубной магистральной системы в пользу двухтрубной. Как правило, подача теплоносителя в тепловой пункт осуществляется по подающему трубопроводу, затем он возвращается в тепловой источник по обратному трубопроводу. При необходимой температуре теплоносителя, не превосходящей норму в 95 °С, его распределяют напрямую по всей системе отопления при использовании только коллектора с балансировочными клапанами. При температуре теплоносителя больше 95 °С применяют функцию ее регулировки. Это является одной из важнейших задач АИТП.

Основная проблема в том, что в большинстве жилых домов контроль за потреблением тепловой энергии на вводе системы отопления невозможен. В связи с этим предлагается установка автоматизированного теплового пункта, что даст возможность эффективного регулирования и, как следствие, экономии потребляемой тепловой энергии [1].

Положительный эффект от внедрения АИТП:

1) снижение расхода энергоресурсов на теплоснабжение;

2) как следствие из пункта 1, уменьшение выбросов парниковых газов и других веществ в атмосферу, что способствует положительному влиянию на экологию в целом;

3) повышение надежности работы тепловых сетей и сокращение потерь тепла за счет установки устройства непосредственно внутри здания;

4) выработка большего количества электроэнергии с теми же условиями, благодаря более качественному отбору тепла в АИТП;

5) существенное сокращение объема водоподготовки в котельных и на ТЭЦ за счет меньшего расхода реагентов химического производства;

6) снижение потребления энергии на деаэрирование воды с использованием теплообменников для горячего водоснабжения в АИТП.

Из этого следует, что целесообразным и более эффективным на сегодняшний день является отказ от ЦТП в пользу ИТП. Такая установка вместе с теплоизоляцией здания, применением радиаторных терморегуляторов и приборного учёта тепла позволит достигнуть существенного сокращения объёмов теплопотребления до 30–50 % [2].

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к энергосбережению и надежности, все современные индивидуальные тепловые пункты следует оборудовать системами авторегулирования. Такой АИТП позволяет экономить от 10 до 35 % теплоэнергии, потребляемой зданием.

Литература

1. Потапенко, А. Н. Основы автоматизации процессов централизованного теплоснабжения зданий / А. Н. Потапенко. – БГТУ, 2006. – 205 с.

2. Пырьков, В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В. В. Пырьков. – К.: II ДП «Такие дела», 2008. – 252 с.

3. Рыбинкин, В. Н. Проблемы в энергосбережении / В. Н. Рыбинкин // Градостроительство. – 2012. – № 3. – С. 81–86.

УДК 662.92+62-68

ПРИМЕНЕНИЕ ФРЕОНОВОЙ ТУРБИНЫ НА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ

БИКТАГИРОВА Г.Г., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. АХМЕТОВ Э.А.

Геотермальная энергетика имеет историю больше ста лет. Летом, а именно в июле 1904 года, в городке Лардерелло, находящемся в Италии, был проведен первый эксперимент, который позволил получить электрическую энергию из геотермального пара. А спустя еще несколько лет здесь запустили первую геотермальную электростанцию, которая работает до сих пор.

Чтобы построить такие электростанции, выбирают районы с геологической активностью, где геотермальное тепло находится на сравнительно небольшой глубине. Сюда относятся области, богатые гейзерами, открытыми термальными источниками воды, которые разогреты вулканами. Геотермальная энергетика активнее развивается именно в таких местах. Но и в сейсмически неактивных районах встречаются пласты земной коры, у которых температура достигает до 100 °С. На каждых 36 метрах глубины температура возрастает на 1 °С. В таких случаях бурят скважину и заполняют водой. На выходе получают жидкость с очень высокой температурой и водяной пар, которые можно использовать как рабочее тело в системе отопления, так и для выработки электрической энергии. Областей, где можно таким образом получать электрическую и тепловую энергии, много, поэтому геотермальные электростанции работают повсеместно.

Принципы работы геотермальных электростанций.

На сегодняшний день применяется три способа выработки электрической энергии с использованием геотермальных источников, которые зависят от состояния рабочей среды (вода или пар) и температуры породы:

1. Прямой (использование сухого пара). Пар напрямую поступает на турбину, который в дальнейшем вращает ее лопасти и питает генератор. Таким образом, с помощью пара вырабатывается электрическая энергия.

2. Непрямой (применение водяного пара). В этом способе используется гидротермальный раствор, который закачивается в испаритель. Его испарение происходит в связи со снижением давления. И в дальнейшем испарение приводит в действие лопасти турбины.

3. Смешанный, или бинарный. В этом случае используется гидротермальная вода и вспомогательная жидкость с низкой температурой кипения, например фреон, который закипает и превращается в пар в испарителе под воздействием горячей воды. Образовавшийся при этом пар от фреона поступает в турбину и вращает лопасти, потом рабочий пар фреона конденсируется и снова возвращается в испаритель для нагрева. Образуется замкнутая система (контур), которая практически исключает вредные выбросы в атмосферу.

В смешанном способе применяется фреоновая турбина. Лопасти данного вида турбины вращаются от пара фреонов, которые улетучиваются в испарителе под воздействием горячей воды из геотермальных источников. Данный способ работает по органическому циклу Ренкина и считается более эффективным при выработке электрической энергии.

УДК 62.69

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ КОТЛОВ НА КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

БУДАРИНА О.А., ДЖАФАРОВА С.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАЛИЕВ Р.Н.

Вопрос организации теплоснабжения предприятий, расположенных на территориях с отрицательными наружными температурами, продолжает оставаться актуальным, несмотря на свою широкую известность. Время не стоит на месте, с каждым годом выводятся из эксплуатации выработавшие свой ресурс котлы, взамен которых вводятся в строй новые котлы или когенерационные и тригенерационные установки. Крупные или мелкие предприятия, расположенные в населенных пунктах, как правило, подключаются к теплосетям от ТЭЦ или центральных котельных. Теплоснабжение небольших предприятий, удаленных от источников централизованного теплоснабжения, в основном базируется на автономных источниках [1].

Автономное теплоснабжение во многих случаях, даже без применения когенерации и тригенерации, оказывается достаточно выгодным и удобным, так как позволяет самостоятельно устанавливать сроки начала и конца отопительного периода и применять наиболее подходящий для предприятия температурный режим. Преимущества автономных систем:

1) отсутствие дорогостоящих наружных теплосетей;

2) возможность быстрого монтажа и запуска;

3) сравнительно низкие первоначальные затраты;

4) упрощенные схемы, а также минимальные затраты на этапе проектирования;

5) сокращение расхода топлива за счет местного регулирования отпуска теплоты.

Лидерами по популярности в этой области за последние 5 лет остаются электрические и газовые котлы.

Целью работы является сравнение эффективности установки газовых и электрических котлов на источнике автономного теплоснабжения. На сегодняшний день газ является наиболее предпочтительным видом топлива вследствие его дешевизны, экономичности и легкости использования. Но и в таком отоплении есть свои минусы, особенно если вблизи предприятия нет газовой магистрали. Также на этапе проектирования необходимо получить разрешения от газовых служб. Хорошим решением для организации теплоснабжения предприятия в этом случае может стать установка электрических котлов (индукционных, электродных и даже тэновых) [2, 3]. Такие котлы работают по принципу нагрева жидкости в присоединенном к ним внешнем контуре отопления.

Приведенный в работе сравнительный анализ позволяет оценить эффективность применения электрических котлов в сравнении с газовыми. Исходя из представленных расчетов, электрические котлы в определенных случаях использовать безопаснее и выгоднее, чем газовые, но при этом нельзя забывать, что применяемый в Российской Федерации тариф на единицу газа намного выгоднее, чем на единицу электричества.

Литература

1. Пиир, А. Энергоэффективность различных способов центрального теплоснабжения [Электронный ресурс] / А. Пиир, В. Кунтыш, А. Верещагин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – Режим доступа: http://energy.bntu.by/jour/article/view/849. – (Дата обращения: 11.01.2018).

2. Барков, В. И. Электрокотлы для автономных систем теплоснабжения / В. И. Барков // Новости науки Казахстана. – Алматы: КазНИИНТИ, 1999. – С. 33–35.

3. Методические рекомендации по расчету и применению электрических нагревательных установок с аккумуляцией теплоты. – М.: ВИЭСХ, 1987. – 80 с.

УДК 697.34

ОПТИМИЗАЦИИ КОТЕЛЬНЫХ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

ГАБДУЛЛАЗЯНОВА А.А, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОСТЫЛЕВА Е.Е.

Проблема оптимизации систем теплоснабжения котельных в Республике Татарстан заключается в том, чтобы создать надежную такую систему городских и сельских населенных пунктов, что относится к организационно-техническим мероприятиям, не требующим значительных финансовых затрат на внедрение, но приводящим к значительному экономическому, планомерному сокращению расходов на производство тепловой энергии и их снижению на содержание объектов жилищно-коммунального хозяйства.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что от уровня оптимизации теплоснабжающих объектов зависит конечная стоимость энергии у потребителя, другими словами, экономическая эффективность работы как отдельного источника, так и всей системы в целом.

В работе рассмотрены мероприятия, призванные обеспечить необходимый уровень оптимизации с учетом современных технологий и технологических возможностей ныне существующих теплогенерирующих станций.

К базовым направлениям можно отнести оснащение приборами учета исключения отопительных котельных и потребителей, проведение аудита действующих тарифов, нормативов и затрат на производство и распределение тепловой энергии.

Кроме того, к малозатратным мероприятиям можно причислить инвентаризацию котельных, паспортизацию оборудования, проведение инструктажа и обучение по программе сбережения энергии персонала, теплоизоляцию поверхностей котлов и теплопроводов, установку контроля расхода топлива, электроэнергии, воды, тепла, централизацию оперативного контроля и управления в системах теплоснабжения.

К среднезатратным мероприятиям относятся оценка ресурсов энергосбережения, автоматизированная работа агрегатов, установка счетчиков энергии с функцией почасового учета потребленного тепла, анализ нагрузок и выбора наиболее рациональной политики тарифообразования, применение устройств и технологий, которые предотвращают накипь в теплообменных устройствах, автоматизированное управление деятельности котельной, проведение ремонтов и пусконаладочных работ в тепловых сетях, использование холодного приточного наружного воздуха для подпитки компрессоров. Для того чтобы уменьшить расходы на оплату энергии, применяют оптимизации схемы снабжения.

К высокозатратным направлениям относят: применение метода глубокой утилизации тепла уходящих газов, смена физически и морально устаревших котлов, установка экономайзера и конденсатоотводчиков, система сбора и возврата конденсата, установка подогревателя воздуха и воды в котельной, использование приборов глубокой утилизации тепла, а также использующих дымовых газов, своевременное обслуживание поврежденной изоляции трубопроводов и замена на современные технологии и материалы, прокладка тепловых сетей оптимального диаметра, смена устаревших электродвигателей на современные, внедрение частотного регулирования, введение централизованной системы управления компрессорной станции, обеспечение оптимизации характеристик вентилятора и воздушного тракта, оптимальное отношение напорной характеристики насосов и сопротивления тракта, поддержание чистоты всех поверхностей котла.

После проведенных работ составляется план по смене устаревшего оборудования, там, где это будет целесообразно с наибольшим положительным эффектом.

По итогам расчетов можно будет оценить уровень затрат на внедрение мероприятий, которые помогут оптимизировать деятельность системы теплоснабжения котельных, учитывая экономию и сроки окупаемости каждого из планипуемых этапов.

Литература

1. Кулаченко, В. А. Модернизация котельных установок путем замены котла на котлы нового поколения / В. А. Кулаченко. – 2017.

2. Третьяков, С. А. Энергоэффективная модернизация и автоматизация котельных / С. А. Третьяков, В. А. Хвостов // Будущее машиностроения России. – 2015. – С. 582–586.

3. Потапова, Л. Н. Эффективность модернизации котельной централизованной системы теплоснабжения / Л. Н. Потапова, С. В. Потапов, М. М. Дерунов // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2017. – № 4-1. – С. 130–134.

4. Скудицкий, В. Е. Опыт модернизации котельной установки / В. Е. Скудицкий // Главный энергетик. – 2015. – № 5-6. – С. 53–56.

5. Аюпова, А. З. Эффективность эксплуатации котельной промышленного города / А. З. Аюпова // Инновационная наука. – 2016. – № 8-2.

6. Перспективы развития когенерационных систем производства электрической и тепловой энергии / Арсланова Э. Р. [и др.] // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность. – 2015. – С. 289–292.

7. Калачев, О. В. Методика борьбы с типовыми ошибками монтажа паровых котлов во время реконструкции на ОПО / О. В. Калачев, Л. Ю. Юдин // Промышленные и строительные технологии. – 2016. – № 4. – С. 7.

8. Ерёмин, Б. М. Типовые ошибки при монтаже паровых котлов при реконструкции котельных на ОПО и методика борьбы с ними / Б. М. Ерёмин, И. В. Окороков // Инновации в строительстве и промышленности. – 2016. – № 2. – С. 4.

УДК 550.812.14

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ГАПОНЕНКО С.О., КОНДРАТЬЕВ А.Е., КГЭУ, г. Казань

Одним из важнейших направлений безопасности является повышение энергоэффективности и надежной эксплуатации различных коммуникаций, которое обеспечивается разработкой и внедрением новых более современных способов и приборов контроля их местоположения.

Контроль местоположения заглубленных трубопроводов необходим при проведении строительных работ, прокладке новых коммуникаций или бурении скважин, так как возникает вопрос о повышенеии безопасности эксплуатации техногенных объектов. Безопасность является необходимым условием проведения любых работ на объектах, а поврежденный трубопровод становится причиной серьезной опасности.

К современным методам контроля местоположения заглубленных трубопроводов относятся [1–4]:

– магнитометрический метод;
– инфракрасная термография;
– радиационный метод;
– радиоволновый метод;
– электромагнитный метод;
– акустическая локация;
– резонансно-акустическое профилирование.

Перечисленные методы имеют ряд недостатков, связанных с ограничением области использования, т.е. не применимы к трубопроводам из неметаллических материалов, а также обладают слабой избирательностью контроля местоположения заглубленных трубопроводов, когда в непосредственной близости с контролируемым объектом проходит множество металлических инженерных коммуникаций и различных трасс – кабели связи, силовые кабели, трубы тепло- водо- и газоснабжения [1–4].

Метод акустической локации и резонансно-акустическое профилирование применимы к контролю местоположения трубопроводов из неметаллических материалов, но имеют ряд недостатков, связанных с трудностью проведения поисковых работ.

Для решения указанных недостатков и повышения избирательности контроля местоположения заглубленных трубопроводов, выполненных из различных материалов, предлагается усовершенствованный акустико-резонансный метод.

Целью исследования является разработка информационно-измерительного комплекса на основе усовершенствованного акустико-резонансного метода контроля местоположения заглубленных трубопроводов, выполненных из различных металлических и неметаллических материалов [1–4].

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов контроля местоположения заглубленных трубопроводов и приборов для их осуществления, а также дать оценку эффективности их применения.

2. Усовершенствовать акустико-резонансный метод контроля местоположения заглубленных трубопроводов, выполненных из различных материалов.

3. Разработать и создать информационно-измерительный комплекс, реализующий усовершенствованный акустико-резонансный метод контроля местоположения заглубленных трубопроводов, состоящий из систем возбуждения и приема вынужденных колебаний.

4. Разработать методику, позволяющую осуществлять контроль местоположения заглубленных трубопроводов, выполненных из различных материалов.

5. Разработать и создать алгоритмическое и программно-техническое обеспечение процессов управления информационно-измерительным комплексом и обработки виброакустических сигналов.

6. Определить информативные частотные диапазоны для контроля местоположения заглубленных трубопроводов различных диаметров, длин и материалов с помощью гармонического анализа в программном комплексе ANSYS.

7. Провести испытания информационно-измерительного комплекса в лабораторных и полевых условиях.

Усовершенствование акустико-резонансного метода. Известен комплексный метод обнаружения неметаллических трубопроводов (полимерно-армированных труб) и повреждений на них по изобретению RU № 2328020, МПКG01V3/08, 20.04.2007, заключающийся в том, что в трубопроводе генерируют звуковые колебания, вызывающие механические колебания металлической арматуры трубы в магнитном поле Земли. Измеряют электрическую *E* и магнитную *H* составляющие возникающего электромагнитного излучения, температуру грунта и уровень шумов, издаваемых средой, транспортируемой по трубе.

Недостатком данного метода является сложность определения расположения трубопроводов, связанная с наличием множества контролируемых параметров, а также невозможность поиска металлических трубопроводов.

Задачей предлагаемого изобретения является создание простого способа, обеспечивающего высокую достоверность и избирательность определения расположения как неметаллических, так и металлических трубопроводов.

Усовершенствованный акустико-резонансный метод описан в патенте на изобретение № 2482515 [5] 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.

Литература

1. 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.

2. 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.

3. Гапоненко, С. О. Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2015. – № 2(47). – С. 9–13.

4. Гапоненко, С. О. Виброакустический метод контроля скрытых полых объектов / С. О. Гапоненко, А. Р. Загретдинов // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. матер. Междунар. науч. конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам. – Йошкар-Ола, 2015. – С. 234–235.

5. Пат. 2482515 Российская Федерация, МПК G01V1/00, G01N29/00. Способ определения расположения трубопровода / Кондратьев А. Е., Загретдинов А. Р., Гапоненко С. О.; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «КГЭУ». – № 2011151380/28; заявл. 15.12.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14. – 6 с.

УДК 621.577

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

ГАТАУЛЛИНА И.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Тепловой насос (ТН) – механизм для теплопроизводства с применением обратного термодинамического цикла. Или по-другому – это установка, осуществляемая с затратой мощности, для переноса тепловой энергии от низкотемпературного теплоотдатчика к теплоприемнику с высокой температурой. Рабочие процессы, происходящие в ТН, схожи с процессами в холодильной машине.

В Республике Татарстан в 2011 году впервые был использован ТН, работающий на сточных водах на канализационной насосной станции (КНС-3) ЗАО «ЧЕЛНЫВОДОКАНАЛ». Установка ТН на предприятии давно планировалась, поскольку на очистительные конструкции сливается большой объём стоков, низкопотенциальную энергию которых можно и необходимо употреблять для нагревания жилых домов и служебных зданий, а также для обеспечения горячего водоснабжения (ГВС).

Почему избрали КНС-3 для внедрения ТН в Набережных Челнах, поясняется некоторыми пунктами. Важнейшим из них является месторасположение станции, в которую сливается до 15–17 тыс. $м^3$ стоков в день с температурой не ниже 12 °С, она обслуживает часть северо-восточного района города. Из-за того, что станция располагается вдали от тепловых сетей, там применяются в системе отопления электрические котлы. К тому же отапливать и обеспечивать ГВС необходимо не только КНС-3, но и расположенный вблизи административно-бытовой комплекс, где круглосуточно

базируется ремонтно-аварийная бригада. Отапливаемая площадь двух объектов в общей сумме составляет свыше 800 м^2. В 2012 году еще на двух канализационных станциях предприятия введены в строй такие оборудование [1].

Включение теплонасосной установки в линию обратной сетевой воды позволяет при сохранении ее расхода и снижении температуры повысить используемый температурный перепад, например, 70 – 50 = 20 °С до 70 – 30 = 40 °С, т. е. увеличить подачу тепла в 2 раза и обеспечить требуемое качество теплоснабжения без изменения гидравлического режима тепловой сети и потерь для других абонентов. При этом возможно применение теплонасосной установки «вода – вода» в тепловом пункте, но наиболее привлекательным является решение для отдельных квартир и помещений с теплонасосной установкой «вода – воздух».

Например: рассмотрим детский сад или квартиру с проблемой «недотопа». Установка в самой большой комнате напольной теплонасосной установки «вода – воздух» мощностью 3–10 кВт с подключением ее к обратной линии системы отопления требует небольшое количество времени и издержек. Шум от нее днём не приносит неудобства. По истечению надобности установка легко выключается и её можно применить в другом месте. В теплое время года, т.е. летом, она же используется для охлаждения воздуха – работает аналогично мобильному кондиционеру, но без проблем с воздуховодами. Для внедрения подобных систем сохраняется организационная проблема – оформление распределения выгоды между теплоснабжающей организацией и заказчиком. Иначе теплоснабжающая организация не получает нового клиента, а заказчик вынужденно имеет повышенные эксплуатационные расходы [2].

ТН по типу теплоносителя во входном и выходном контурах делят на шесть типов: «грунт – вода», «вода – вода», «воздух – вода», «грунт – воздух», «вода – воздух», «воздух – воздух».

ТН «грунт – вода». Более используемым источником рассеянного тепла является грунт. Он собирает солнечную энергию, и в течение года подогревается от земного ядра. При этом грунт находится «под ногами» и, не смотря на погодные условия, он всегда отдаёт тепло. В 5–7 м под землей температура почти не меняется в течение года. Для большей территории Республики Татарстан она составляет 8–12 °С, это позволяет использовать высокоэффективные системы отопления и охлаждения.

ТН «вода – вода». Энергия солнца собирается в воде и донных слоях. Редко бывает, чтобы температура воды снизилась ниже +4 °С. Чем меньше расстояние к поверхности, тем температура больше колеблется на протяжении года, а в глубине – она относительно устойчива. Полиэтиленовые трубы для отбора тепла помещаются на дне или в его грунте, где температура повыше, чем воды. Чтобы устранить всплытие труб, необходимо снабжать их отягощающим грузом или собрать каркас.

ТН «воздух – вода». По многосторонности использования в российских климатических условиях ТН «воздух – вода» занимает второе место. Но вероятно, это вызвано нехваткой профессиональных инженерных кадров, чем параметрами самого оборудования. Чтобы смонтировать этот вид ТН, нет надобности в бурении скважин, а это означает, что устраняются издержки на земляной контур. Эффективность нынешних воздушных ТН достигается даже при температуре минус 20–25 °С [3].

Использование ТН – это сохранение невозобновляемых энергетических источников и защита окружающей среды, включающее и метод сокращения выбросов CO_2 в атмосферу, а также возможная экономия до 70 % традиционных энергетических ресурсов. Применение ТН существенно совершенствует условия теплоснабжения: возможно в два раза снижение расходования первичной энергии (органического топлива); система теплоснабжения становится децентрализованной, не требующая новых протяженных тепловых сетей; производство электроэнергии, результатом которого является выброс продуктов сгорания органического топлива, можно вынести за пределы жилых территорий.

Литература

1. Гашо, Е. Г. Кольцевые системы с теплонасосной установкой / Е. Г. Гашо // Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. – М.: Изд-во «Перо», 2016. – С. 78–85.

2. Дубровский, С. В. Отопление удаленной канализационной насосной станции тепловым насосом / С. В. Дубровский // Тепловые насосы. – 2014. – № 6 (21). – С. 35–40.

3. Тепловой насос. Источники тепла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://decentral.web-box.ru/stati/teplovyj-nasos/teplovoj-nasos-istochniki-tepla/ (дата обращения: 25.12.2017).

УДК 62-176.2

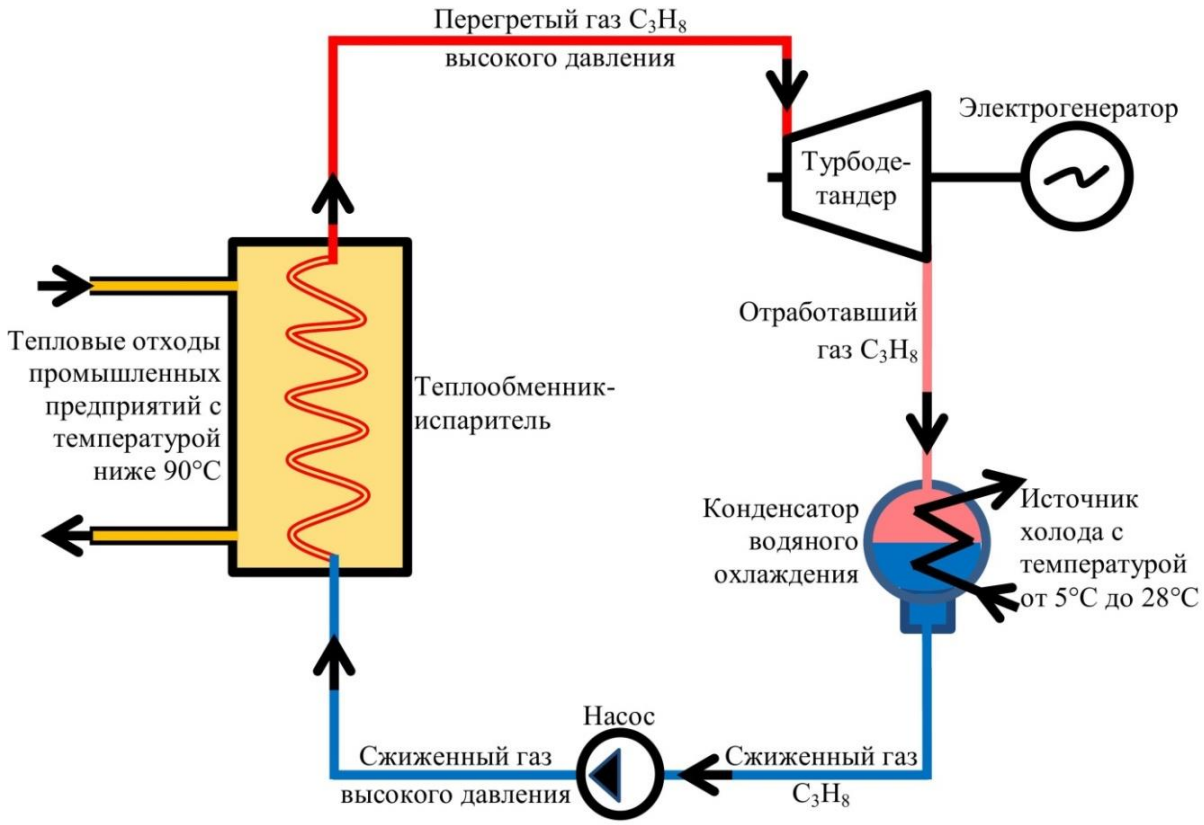
СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ГАФУРОВ А.М., ООО «ЭНСИМ»; ХАКИМУЛЛИН Б.Р., КГЭУ;
ГАФУРОВ Н.М., ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

На нефтехимических производствах тепловые потоки низкого потенциала с температурами меньше 90 °С для жидких сред и меньше 150 °С для газообразных сред практически не находят применения, т. е. попросту выбрасываются в окружающую среду. Причем объем тепловых выбросов соизмерим с объемом потребления топливно-энергетических ресурсов и представляет собой термическое загрязнение окружающей среды. Примером может служить стадия газоразделения совместного производства этилена и пропилена, в котором имеется значительный резерв неиспользуемого низкопотенциального тепла оборотной воды (до 47 °С и 240,2 кг/ч), отработанного пара низких параметров (до 143 °С и 160,9 кг/ч), пропан-пропиленовой фракции (до 5 °С и 1,5 кг/ч), метан-этиленовой фракции (до 15 °С и 0,9 кг/ч). Наибольшую ценность для создания технологии утилизации с целью экономии топливно-энергетических ресурсов имеют тепловые потоки оборотной воды и пара вследствие их высоких расходных и термодинамических характеристик [1].

Одним из возможных вариантов утилизации теплоты рассматриваемых потоков является установка теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на сжиженном пропане C_3H_8, в котором реализуется органический цикл Ренкина от источника низкопотенциальной теплоты для последующей выработки электроэнергии (рисунок). Таким образом, включение установки теплового двигателя на C_3H_8 в технологическую схему промышленных предприятий позволит производить дополнительную электроэнергию для покрытия собственных нужд производства, что в свою очередь, приведет к значительной экономии энергоресурсов [2].

В настоящее время пропан широко используется в промышленных холодильных установках. Хладагент C_3H_8 характеризуется малой растворимостью в воде и низкой стоимостью. При его применении не возникает проблем с осуществлением выбора конструкционных материалов деталей теплообменника-испарителя, теплообменника-конденсатора, турбодетандера и конденсатного насоса.



Принципиальная схема теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на C_3H_8 по утилизации тепловых отходов промышленности

Работа теплового двигателя (рисунок) осуществляется по органическому циклу Ренкина, который охлаждается технической водой окружающей среды с температурой от 5 до 28 °С. Тепловой двигатель функционирует следующим образом: сжиженный пропан C_3H_8 сжимают в насосе до высокого давления, нагревают и испаряют в теплообменнике-испарителе за счет подводимой теплоты промышленных отходов с температурой ниже 90 °С, полученный перегретый газ C_3H_8 расширяют в турбодетандере, в результате чего происходит снижение его температуры и давления, а мощность на валу турбодетандера передается соединенному на одном валу электрогенератору, далее отработавший газ C_3H_8 направляют на охлаждение в теплообменник-конденсатор водяного охлаждения, где ниже его температуры насыщения происходит интенсивное сжижение, после чего сжиженный газ направляют в насос и цикл повторяется [3].

Температурный диапазон использования сжиженного газа C_3H_8 в качестве низкокипящего рабочего тела в тепловом контуре органического цикла Ренкина ограничивается показателями критической температуры в 96,7 °С и температурой насыщения при давлении не менее 0,1 МПа.

Поэтому использование сжиженного газа C_3H_8 в температурном диапазоне от 100 до – 42 °С позволит исключить проблемы создания вакуума и обеспечения прочности и герметичности трубопроводов и арматуры [4].

Предлагаемый способ утилизации тепловых отходов промышленности обеспечивает дополнительную выработку электроэнергии при минимально допустимых температурных перепадах (разницах температур) между источником сбросной теплоты и окружающей среды, равных 22 °С. При этом расчеты показывают, что для выработки 1 кВт полезной электрической мощности с помощью теплового двигателя на сжиженном газе C_3H_8 необходимо утилизировать в среднем около 100 кВт тепловой энергии.

Создание конструкций тепловых двигателей на C_3H_8 возможно из обычных материалов и отечественных комплектующих (низкий уровень температур, минимальные окружные скорости и напряжения). Однако основными факторами, которые затрудняют применениея данных установок, являются относительная дешевизна традиционных углеводородов и слабое развитие оборудования отечественного производства, работающего на низкокипящих рабочих телах.

Литература

1. Гатина, Р. З. Возможности использования тепловых отходов промышленности для выработки электроэнергии / Р. З. Гатина, Б. Р. Хакимуллин, А. А. Потапов // Форум молодых ученых. – 2017. – № 10(14). – С. 181–184.

2. Гафуров, А. М. Возможности использования органического цикла Ренкина для утилизации низкопотенциальной теплоты / А. М. Гафуров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2014. – № 2(21). – С. 20–25.

3. Гатина, Р. З. Способ утилизации тепловых отходов промышленности с температурой в 30°С в зимний период времени / Р. З. Гатина, А. М. Гафуров // Форум молодых ученых. – 2017. – № 5(9). – С. 476–479.

4. Гафуров, А. М. Выбор низкокипящего рабочего тела по термодинамическим показателям для использования в тепловом двигателе в области температур от 80 до – 55°С / А. М. Гафуров, Р. З. Гатина // Форум молодых ученых. – 2017. – № 5(9). – С. 493–496.

УДК 621.352.6

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ГУМЕРОВ И.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. АХМЕТОВ Э.А.

Топливные элементы являются наиболее эффективным средством преобразования различных видов топлива, особенно водорода, в чистую, эффективную, надежную электроэнергию и тепло для широкого спектра связанных с энергетикой приложений, включая переносные устройства, комбинированную тепловую и электрическую (ТЭЦ) и дорожного и внедорожного транспорта.

Общеизвестно, что в наши дни мы являемся свидетелями начала чрезвычайно захватывающего времени для топливных и водородных технологий, в основном обусловленных тремя силами: признание водорода как привлекательной и важной платформы для хранения энергии энергоносителями; заинтересованность крупных глобальных телекоммуникационных компаний в резервной мощности топливных элементов; коммерциализация электромобилей топливных элементов (FCEV) крупнейшими автопроизводителями мира. Небольшие топливные элементы для зарядки смартфонов уже имеются в продаже, а также небольшие единицы ТЭЦ, где в японской программе ENE-FARM было развернуто более 100 000 единиц. Другим успешным примером является установка более 100 МВт блоков MCFC для распределенной ТЭЦ в США и Южной Корее. Это некоторые ранние применения, но имеющие большое значение для дальнейшего роста топливных элементов и водородного поля.

Важным аспектом данной темы, требующим отдельного внимания, являются высокие показатели экологичности данного вида распределенной генерации тепловой энергии, что, безусловно, актуально в настоящее время и в ближайшем будущем данная проблема будет лишь обостряться.

Рассмотрены основные виды энергетических установок на базе топливных элементов, осуществлен их анализ с выявлением преимуществ и положительных факторов их использования.

Отмечены недостатки и отрицательные моменты для расширения областей применения, а также проблемы, затрудняющие повсеместное использование энергетических установок на базе топливных элементов для выработки тепловой энергии. Обсуждаются перспективы применения разрабатываемых энергетических установок на базе топливных элементов.

Существует не одна технология топливных элементов, которая выделяется как явный лидер в плане зрелости технологии или технического превосходства. В целом основное внимание уделяется разработке более гибких систем, которые могут функционировать на более широком диапазоне видов топлива при увеличении эффективности.

Литература

1. Топливные элементы. Вполне реальная альтернатива существующим ТЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://portal-energo.ru/articles/details/id/802.

2. Кузык, Б. Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – М.: Институт экономических стратегий, 2007.

3. Топливные элементы в системе резервного электроснабжения базовых станций / М. Салин [и др.] // ИКС-2010. – № 9.

4. Исследование рынка топливных элементов и перспективы его развития в России [Электронный ресурс] // Агентство Промышленной Информации. – Режим доступа: http://www.apelsintez.ru/research/mi1293.

5. Lund, P. D. Importance of integrated strategies and innovations for commercial breakthrough of fuel cells / P. D. Lund // International Journal of Hydrogen Energy. – 2010. – Vol. 35. – P. 2602–2605.

6. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки / С. И. Бредихин [и др.] // НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК». – М., 2017.

УДК 665 (470.41)

ВЫСОКООКТАНОВЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВ

ГУРЬЯНОВ М.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Нефть – это сложная смесь углеводородов с примесью различных соединений, например, серы, азота и др.

В Российской Федерации начиная с 2000-х годов стабильно повышаются объемы добычи нефти, однако в 2008-м наблюдалось снижение. С 2010 года добыча нефти в Российской Федерации превысила планку в 500 млн тонн в год и уверенно возрастает.

По методам нефтедобыча делится на: фонтан (подход флюида происходит за счет разности давлений в продуктивном пласте и на устье скважины), газлифт, насосно-компрессорная добыча, а также с применением всевозможных видов насосов: электроцентробежный, электровинтовой, штанговый скважинный.

Первичные процессы переработки – это физическое разделение нефти на фракции. Сперва промышленная нефть преодолевает начальную сепарацию нефти (удаление из добытой нефти от нефтяного газа воды и различных механических примесей).

Нефть попадает на завод переработки в подготовленном для перевозки виде. На заводе она подвергается дополнительной очистке от механических примесей, удалению растворённых лёгких углеводородов и влаги.

Нефть попадает в ректификационные колонны на атмосферную перегонку, где делится на несколько фракций: легкую и тяжёлую бензиновые фракции, керосиновую фракцию, дизельную фракцию и мазут. Качество данной продукции не отвечает запросам, которые требуются к нефтепродуктам для потребления, поэтому фракции подвергнуты следующей переработке.

Вакуумная дистилляция – отгонка из мазута фракций, которые будут соответствовать требованиям для переработки в моторные топлива, масла и прочую продукцию нефтепереработки. Оставшийся после этого тяжелый остаток именуется гудроном. Он также может послужить сырьем для получения битумов.

Цель вторичных процессов – это повышение количества изготовляемых моторных топлив, они связаны с химическим изменением молекул углеводородов, находящихся в составе нефти, как правило, для преобразования в более благоприятные для окисления формы.

По направлениям все вторичные процессы разделяются на 3 вида:

1) углубляющие: каталитический крекинг, термический крекинг, замедленное коксование, гидрокрекинг, изготовление битумов и т. д.;

2) облагораживающие: риформинг, гидроочистка, изомеризация и т. д.;

3) другие: процессы по производству масел, алкилирования, а также ароматических углеводородов и т. д.

Каталитический риформинг – это процесс каталитической ароматизации нефтепродуктов. Ему подвергнуты бензиновые фракции с границами выкипания 85–180 °C. Вследствие риформинга бензиновая фракция обогащается ароматическими соединениями, и октановое число бензина увеличивается примерно до 85. Данный продукт применяется как компонент для производства бензинового топлива для автомобилей, а также как сырье для извлечения индивидуальных ароматических углеводородов, таких как бензол, толуол и ксилолы.

Каталитический крекинг – процесс термокаталитической переработки нефтяных фракций для получения компонента высокооктанового бензина и непредельных жирных газов. Сырьем для каталитического крекинга является атмосферный и легкий вакуумный газойль, целью процесса является расщепление молекул тяжелых углеводородов, что позволяет применять их для производства топлива. При крекинге выделяются жирные газы, которые раздробляются на отдельные фракции и используются в третичных технологических процессах на самом заводе нефтепереработки.

Сейчас в России находится в эксплуатации более 40 млн автомобилей. Значительная часть машин оборудована бензиновыми двигателями внутреннего сгорания, которые используют высокооктановые виды топлива.

Октановое число – характеристика детонационной стойкости топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Длительное время бензин получали перегонкой и отбором фракций нефти, выкипающих в установленных температурных границах. Тем не менее общей характекристикой этих бензинов является низкое октановое число. Для дистиллятов из этих нефтей свойственно резкое уменьшение октанового числа с ростом температуры конца отбора. Для нефтей Урало-Волжского бассейна, а также месторождений Западной Сибири свойственно преобладание парафиновых углеводородов, поэтому прямогонные бензины из них характеризуются небольшими октановыми числами. Это побудило ещё в 1930-е годы отбирать фракцию до 90–95 °С для того, чтобы в неё не попадал н-гептан, либо включать в отбор более тяжёлые фракции с их последующей ректификацией с целью удаления нормальных парафинов. Эта «денормализация» прямогонных бензинов разрешает довести октановое число до 74–76 пунктов, но с существенным уменьшением выхода целевого продукта.

В начале XX века для увеличения октанового числа стали использовать крекинг и риформинг, которые преобразовывают линейные цепочки нормальных алканов – основной составляющей прямогонного бензина – в разветвлённые алканы и ароматические соединения.

Литература

1. Подвинцев, И. Б. Нефтепереработка. Практический вводный курс: учебное пособие / И. Б. Подвинцев. – Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2015. – 160 с.

2. Уильям Л. Леффлер. Переработка нефти / Уильям Л. Леффлер. – М.: Изд-во «Олимп-Бизнес», 2016. – 224 с.

3. Анчита, Х. Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов: пер. с англ. / Х. Анчита; под ред. О. Ф. Глаголевой, В. А. Винокурова. – 2015. – 592 с.

УДК 697.3

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

ДЖАФАРОВА С.Ф., БУДАРИНА О.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАЛИЕВ Р.Н.

Все большее распространение в мире получает тепло- и холодоснабжение с помощью применения тепловых насосов, которые относятся к области экологически чистых энергосберегающих технологий. Тепловой насос представляет собой холодильную машину и по аналогии содержит испаритель, конденсатор и контур, осуществляющий термодинамический цикл.

Теплонасосные установки считаются наиболее эффективными, поскольку могут передавать потребителю в 3–5 раз больше энергии, чем затрачивают на ее передачу сами. Также в них используются экологически чистые технологии лишь с небольшими вредными выбросами в окружающую среду.

Источниками низкопотенциальной теплоты (НПИТ) для таких насосов могут быть: вытяжной или наружный воздух; грунт; сточные воды; подземные и поверхностные воды; дымовые газы собственной крышной котельной на природном газе; вторичные тепловые потоки промышленных предприятий и объектов коммунального хозяйства ТВЭР; теплоноситель существующей сети теплоснабжения района от ТЭЦ. Тип источников, которые будут использованы, определяется градостроительными условиями расположения проектируемых жилых домов, их архитектурно-планировочными и конструктивными параметрами.

Вид и количество тепловых насосов, их мощность зависят от структуры тепловой нагрузки жилого здания, типа и параметров систем отопления и горячего водоснабжения, параметров НПИТ.

Структура, параметры и режимы работы источников теплоснабжения на основе тепловых схем блочно-модульных котельных с использованием тепловых насосов должны выбираться с учетом их расчетной теплопроизводительности.

Размещаться тепловые насосы должны преимущественно на свободных площадях, максимально близко к природным источникам низкопотенциальной теплоты и тепловым вторичным энергетическим ресурсам. Габариты и шумовые характеристики оборудования должны допускать его размещение в подвалах, желательно в помещениях, стыкуемых с тепловым узлом жилых домов.

В работе рассматривается вопрос применения теплового насоса в комбинации с блочно-модульной котельной промышленного предприятия, расположенного в городе Набережные Челны, а также и решаются предварительные задачи, связанные с определением доступного потенциала НПИТ и ТВЭР и последующим созданием схем его использования для целей теплоснабжения потребителей.

Литература

1. Багаутдинов, И. З. Преобразование энергии и тепловые насосы / И. З. Багаутдинов, Н. Е. Кувшинов // Инновационная наука. – 2016. – № 3-3 (15). – С. 37–39

2. Лукьянов, М. Ю. Применение блочно-модульных котельных в системах теплоснабжения и их преимущества / М. Ю. Лукьянов, А. С. Земляков, К. К. Куликов // Инновационная наука. – 2015. – № 12-2. – С. 92–94.

УДК 621.577

ТЕПЛОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ДОДОНОВ В.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

В настоящее время с учетом внедрения энергосберегающих технологий необходимо особое внимание уделять альтернативным источникам энергии. Значительный резерв экономии натуральных видов топлива заключен в рациональном использовании вторичных топливных ресурсов.

Перспективным направлением в системах рекуперации малопотенциального тепла является применение тепловых насосных установок (ТНУ), позволяющих повысить температуру и теплообменный потенциал отработанного теплоносителя.

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) – крупные потребители тепловой энергии. Резерв экономии натуральных

видов топлива на промышленных предприятиях заключен в рациональном использовании вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). ВЭР в виде парогазовых и паровоздушных выбросов, теплой воды, нагретого материала, обладающих достаточно высокой температурой, имеются на каждом предприятии. В связи с этим, мероприятия по их рациональному применению, уже подробно изучены и внедряются на многих крупных предприятиях. Но на ЦБП имеется значительное количество малопотенциальных ВЭР в виде потоков уходящего воздуха бумагоделательной машины, теплой воды при охлаждении щелока и теплой воды при конденсации водно-спиртовых паров метанольной и спиртовой колонн на стадии производства спирта.

Наибольшей эксергетической мощностью на ЦБП обладают потоки уходящего воздуха бумагоделательной машины и теплая вода, образующаяся при конденсации паров в колоннах. ТНУ можно использовать для утилизации теплоты отработанного влажного воздуха сушильной части бумагоделательной машины. Влажный воздух, выходящий из сушильной установки, следует направлять в испаритель теплового насоса, где воздух охлаждается и осушается, далее осушенный воздух подогревается в конденсаторе теплового насоса до требуемой температуры и возвращается в сушильную установку. Теплую воду можно применять для подогрева метанольной колонны с помощью ТНУ. Дефлегматорная вода после конденсации паров верхнего продукта направляется в теплообменники для дополнительного подогрева и затем поступает в бак-расширитель. Пары самоиспарения сжимаются в двухступенчатом струйном аппарате и двигаются в колонну как греющий агент. Таким образом, имеет место экономия теплоты греющего теплоносителя в колонне.

ТНУ предусматривают максимальное использование внутренних энергоресурсов. За счет этого будет обеспечено значительное снижение энергоемкости основных процессов промышленности и улучшение экономических показателей технологии производства.

Литература

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. – М.: Бюро НДТ, 2015.

2. Янтовский, Е. И. Промышленные тепловые насосы / Е. И. Янтовский, Л. А. Левин. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

УДК 621.18

ОТВОД ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В КОТЛОАГРЕГАТАХ КОНДЕНСАЦИОННОГО ТИПА

ЗАГРЕТДИНОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Истощение запасов традиционных энергетических ресурсов и повышение негативного воздействия на окружающую среду из-за большого количества выбросов от теплотехнических оборудований заставляют задуматься о применении энергоэффективных методов выработки тепловой энергии [1] с минимальным загрязнением атмосферного воздуха и сточных вод. Одним из таких методов является внедрение котельных агрегатов конденсационного типа.

Принцип действия конденсационных котлов основан на использовании скрытой теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в уходящих газах. Энергетическая эффективность применения конденсационных котлов для отопления потребителей обусловлена такими особенностями оборудования, как:

1. Коэффициент полезного действия при соблюдении низкотемпературного режима (50/30 °С) может достигать 95 % [2].

2. Экологические показатели намного выше по сравнению с данными традиционных котлоагрегатов.

3. Теплообменный аппарат имеет длительный срок службы, так как изготавливается из материалов, устойчивых к взаимодействию с кислотными средами.

Количество выбросов в окружающую среду в конденсационных котлах имеет минимальные значения благодаря вторичному теплообменнику, где происходят охлаждение продуктов сгорания до температуры точки росы и конденсация водяных паров с выделением значительной части теплоты. В результате, газы из дымовой трубы выходят с температурой 40–50 °С, а содержание в них углекислого газа до 40 % ниже, чем в уходящих газах традиционных котлов.

В целях безопасного для оборудования отвода продуктов сгорания высоким содержанием кислотосодержащих веществ дымоход конденсационных котлоагрегатов изготавливают из материала, устойчивого к кислотам. Обычно применяют такие материалы, как нержавеющая сталь,

полимеры, керамика и боросиликатное стекло [3]. При монтаже должно быть учтен необходимый угол коаксиальной трубы для перемещения конденсата в котел без его замерзания на стенках оборудования в холодную погоду.

Конденсат от конденсационных котлов перед сливом должен обрабатываться специальным нейтрализатором для устранения вредного воздействия на систему канализации и сточные воды. В целях осуществления нейтрализации применяют фильтр, основным элементом которого является наполнитель из карбоната кальция. Значение водородного показателя в сливаемом конденсате для проверки фильтров-нейтрализаторов можно измерять pH-метром или лакмусовой бумагой. Чтобы не допустить отклонения водородного показателя от нормы, необходимо периодически менять наполнители фильтров-нейтрализаторов.

Кроме того, при сливе кислотосодержащего конденсата важным является и материал труб в системе канализации. Наиболее кислотостойкими можно назвать трубы из полиэтилена, полипропилена, стали, покрытые внутри полимером, и боросиликатное стекло.

Однако при всех положительных характеристиках котельных агрегатов конденсационного типа уменьшение выбросов в окружающую среду возможно только при установке фильтров-нейтрализаторов в зависимости от мощности котла и периодическом контроле содержания кислот в сливаемом конденсате.

Также стоит помнить, что максимальная энергетическая эффективность может быть достигнута только при соблюдении оптимального температурного режима работы, наиболее эффективного способа обвязки и качественного монтажа оборудования.

Литература

1. Поваров, А. В. Применение конденсационных котлов для отопления малоэтажных жилых объектов / А. В. Поваров, Э. А. Нурманов, В. Т. Сирота // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: матер. V Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Ф. К. Абдразакова. – Саратов, 2017.

2. Брагин, А. С. О перспективах рынка конденсационной техники в Российской Федерации / Д. С. Катков, А. С. Брагин // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Ф. К. Абдразакова. – Саратов, 2016.

3. Милова, Л. Проектирование систем с конденсационными колами / Л. Милова // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011. – № 2(110).

УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ

ИЛЬИН Д.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. АХМЕТОВ Э.А.

Энергоэффективность является ключом к обеспечению безопасной, надежной, доступной и устойчивой энергетической системы в будущем. Это единственный энергетический ресурс, которым каждая страна обладает в изобилии, он является самым быстрым и наименее дорогостоящим способом решения энергетической безопасности, экологических и экономических проблем.

Повышение энергоэффективности не только позволяет отдельным лицам и организациям сократить свои капитальные и эксплуатационные расходы, но и может снизить потребление топлива, тем самым сократить выбросы парниковых газов и помочь предотвратить изменение климата.

Возможность эффективно проектировать здание с самого начала позволяет использовать более продуктивные меры. Чем больше современных технологий и практик будет принято в новом строительстве, тем ниже будет устанавливаться стоимость, а меры станут стандартной практикой.

В целях повышения энергоэффективности технических систем зданий разработаны и приняты требования по обеспечению технической и экологической безопасности оборудования в автономных источниках пристроенных, встроенных и крышных котельных.

Созданы программы освоения отечественной промышленностью серийного производства крышных и встроенных котельных и котлов с герметичной топкой для поквартирных систем теплоснабжения, внутридомовых систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, а также проанализированынормы потребления тепловой энергии на отопление, горячее и холодное водоснабжение. Выдвинуты предложения методов учета и выставления счетов для использования потребления тепла отдельными потребителями, при этом запрещается применение расчетного метода для нового и реконструированного жилья и утверждается только введение инструментального учета и оплаты потребления.

Отмечены недостатки и преимущества проектирования и строительства экспериментальных демонстрационных энергоэффективных жилых зданий.

Уже практически пятьдесят лет мировое сообщество пытается ввести новые стандарты энергоэффективности. Некоторые государства принимают специальные программы, которые позволяют существенно повысить данный коэффициент. Однако до сих пор мировая промышленность потребляет около половины всех энергоресурсов. Причем побочным эффектом данного процесса является выброс углекислого газа в атмосферу, который пытаются контролировать многочисленные объединения экологов. Сегодня международные организации приняли единый стандарт, включающий в себя пункты по энергоэффективности.

На государственном уровне принята программа по повышению энергоэффективности зданий, которая включает в себя несколько уровней и пунктов. Причем их выполнение должно происходить на разных стадиях строительства, кроме этого, учитываются и этапы реконструкции, а также ввода в эксплуатацию.

Сегодня в России проводятся всевозможные конференции, на которых молодые компании и их уже всемирно признанные конкуренты представляют свои разработки, направленные на уменьшение теплоотдачи зданий.

Таким образом, сбалансированный подход к энергоэффективности в зданиях должен быть более значимым, чем просто попытка минимизировать потребляемую энергию. Такие вопросы, как качество внутренней среды и эффективность использования пространства, должны учитываться. Меры, используемые для повышения энергоэффективности, могут принимать разные формы. Часто они включают в себя пассивные элементы, которые по своей сути уменьшают необходимость использования энергии, например, лучшую изоляцию. Многие из них выполняют различные функции, оптимизируя внутренние условия, а также уменьшая потребление энергии, например, увеличение использования естественного света.

Литература

1. Кузнецов, А. Проектирование энергосберегающих зданий / А. Кузнецов // Проектные и изыскательские работы в строительстве. – 2010. – № 1. – С. 15–20.

2. Иванова, Н. Энергоэффективные дом / Н. Иванова // Загородное обозрение. – 2011. – № 11. – С. 10–12.

3. Матросов, Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения / Ю. А. Матросов. – М.: НИИСФ, 2008. – 496 с.

4. Широков, Е. И. Экодом нулевого энергопотребления – реальный шаг к устойчивому развитию / Е. И. Широков // Архитектура и строительство России. – 2009. – № 2. – С. 35–39.

5. Зайцев, И. Пассивный дом – мечта или повседневность? / И. Зайцев // Технологии строительства. – 2008. – № 4. – С. 36–39.

УДК 621.577.22

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДОМА

ИСМАИЛОВА Г.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Геотермальная энергетика позволяет использовать тепло земли для выработки тепловой и электрической энергии, которым можно снабжать жилые районы, поселки, дома.

Под землей располагаются горячие термальные воды, их можно применять в целях теплоснабжения. Наибольшим успехом пользуются скважины, пробуренные непосредственно в геотермальных месторождениях. Таких зон с горячей водой в России огромное количество. После исследований Камчатского, Краснодарского краев и т.д. пробурено более 70 тысяч скважин [1].

Главная особенность геотермального отопления в доме заключается в том, что в теплую летную пору воздух в нем охлаждается, а вот зимой нагревается. При этом затраты на такое отопление очень низкие в сравнении с другими тепловыми установками. В чем-то работа такой системы схожа с кондиционированием воздушных потоков. Она помогает создать в доме нужные тепло и уют, обеспечивая хозяевам комфортные условия проживания [2].

Преимущества внедрения геотермального отопления в частном жилище: энергию геотермального вида получать и в дальнейшем использовать можно практически в любом месте; подача такого вида тепла не ограничена; применение такой энергии считается наиболее устойчивым; она не содержит в себе разного рода вредные выбросы от сгорания углекислого газа; подобное отопление не требует оказывать дому постоянное обслуживание; оно считается бесплатным для владельца дома; насосы

установки занимают намного меньше места, чем аналогичные тепловые установки (геотермальному насосу под установку нужно места примерно столько же, как и, к примеру, холодильнику); геотермальная энергия помогает как нагревать помещение, так и при необходимости охлаждать его, принцип работы схож с алгоритмом функционирования кондиционеров; при желании можно устанавливать такое отопление совместно с другими системами подачи тепла, например, с газовой системой, дизельной или работающей за счет энергии солнца [3].

Применение систем геотермального централизованного теплоснабжения в основном развито в Европе, Китае, Японии и Турции. В США преобладающее большинство имеют системы геотермального отопления отдельных домов. В России на Камчатке теплом снабжаются целые поселки путем прямого использования такого тепла [4].

В скважине необходимо создать подземный теплообменник, через который будет циркулировать горячая термальная вода, нагревая при этом сетевую жидкость для отопления и горячего водоснабжения дома. Наиболее подходящее для такого вида теплообмена устройство – пластинчатый трехконтурный теплообменник. Для резервирования геотермальной установки пригодится котел на любом дешевом топливе.

Оптимальная температура термального источника составляет 80–90 °С для того чтобы согреть циркулирующий в отоплении теплоноситель до 55–60 °С.

Однако предстоит решение серьезной проблемы, так как подземные воды содержат большое количество минеральных солей, что приводит к закупориванию скважин и выделению токсичных веществ. Поэтому необходимы эффективные способы очистки воды [5-6].

Литература

1. Абдулагатов, И. М. Преобразование геотермальной энергии в электрическую с использованием во вторичном контуре сверхкритического цикла / И. М. Абдулагатов, А. Б. Алхасов // Теплоэнергетика. – 1988. – № 4. – С. 53–56.

2. Саламов, А. А. Геотермические электростанции в энергетике мира / А. А. Саламов // Теплоэнергетика. – 2012. – № 1. – С. 79–80.

3. Тепло Земли // Перспективы развития геотермальных технологий» Экология и жизнь: доклад. – 2013. – № 6. – С. 49–52.

4. Тарнижевский, Б. В. Состояние и перспективы использования НВИЭ в России / Б. В. Тарнижевский // Промышленная энергетика. – 2013. – № 1. – С. 52–56.

5. Кузнецов, В. А. Мутновская геотермальная электростанция / В. А. Кузнецов // Электрические станции. – 2014. – № 1. – С. 31–35.

6. Бутузов, В. А. Геотермальные системы теплоснабжения в Краснодарском крае / В. А. Бутузов // Энергоменеджер. – 2002. – № 1. – С. 14–16.

УДК 621.692

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

КАЛАЧЕВ Н.А., КАЮМОВ Р.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАЛИЕВ Р.Н.

На Никитской ТЭЦ-4 для сжигания в энергетических и пиковых котлах используется природный газ, поступающий из двух газопроводов с абсолютным давлением 12 и 6 атмосфер. Перед подачей в котлы давление газа понижается до 2 атмосфер на ГРП, расположенных на территории предприятия. Энергия расширения природного газа при этом теряется.

В работе рассматривается вопрос утилизации избыточного давления природного газа за счет включения в схему газоснабжения специального оборудования (турбодетандера), предназначенного для преобразования энергии давления природного газа в электрическую [1]. В турбодетандере срабатывается давление природного газа, ранее дросселируемого на ГРП. Тип применяемого рабочего колеса, количество внутренних ступеней давления зависят от его перепада и расхода газа и обычно определяются при выдаче технического задания предприятию на его изготовление.

К установке предлагаются проверенные в эксплуатации турбодетандерные агрегаты с масляными, газовыми и магнитными подшипниками, выпускаемые ОАО «НПО ГЕЛИЙМАШ», которые отличаются высокой надежностью и эффективностью. Широкий рабочий диапазон температур (от 400 до 6 К), определяемые самим заказчиком параметры (по расходу и степени расширения), высокий КПД (до 86 %), возможность регулирования расхода и производительности (с помощью поворота направляющих лопаток) – все эти характеристики подтверждают возможность применения выбранных турбодетандеров для утилизации избыточного давления природного газа на Никитской ТЭЦ-4.

Наиболее подходящими для использования являются турбодетандеры-генераторы, предназначенные для выработки электрической мощности до 1 МВт. Турбодетандерные агрегаты могут быть полностью или частично автоматизированы. Надежную работу систем автоматики обеспечивают запорно-регулирующая арматура и датчики известных отечественных и зарубежных производителей.

Ниже приведены технические характеристики предварительно выбранного, серийно выпускаемого турбодетандера-генератора «Угра-120» [2]: 1) рабочая среда: природный газ; 2) давление газа на входе / выходе: 0,4/0,13 МПа; 3) температура газа на входе: 358 К (85 °С); 4) расход газа: 7000 $нм^3$ /час; 5) выдаваемая электрическая мощность: 120 КВт; 6) габариты: 1500×2000×1200 мм; 7) масса агрегата: 1500 кг. Подобные турбодетандерные агрегаты уже установлены и успешно эксплуатируются на отечественных предприятиях.

Для того чтобы обеспечить необходимую степень расширения и требуемый расход природного газа, в работе применено схемное решение с установкой каскада турбодетандеров-генераторов, с промежуточными теплообменниками между каскадами, для предварительного и промежуточного подогрева природного газа до требуемых 85 °С за счет теплоты, подводимой от постоянно образующихся в технологических процессах станции тепловых вторичных энергетических ресурсов (ТВЭР). Для передачи потенциала ТВЭР может быть использовано любое типовое и нетиповое теплоутилизационное оборудование, обеспечивающее требуемый диапазон температур, давлений и расходов. Выбор схемного решения и теплоутилизационного оборудования определяется технико-экономическим сравнением вариантов и дополняется пименением эксергетического метода анализа [3].

Литература

1. Аксенов, Д. Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива [Электронный ресурс] / Д. Т. Аксенов. – Режим доступа: www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2088.

2. Турбодетандеры и турбодетанерные агрегаты // Каталог ОАО «НПО» ГЕЛИЙМАШ». – М.: ФГБУ РосНИИ ИТ и АП. – 2013. – 13 с. – Режим доступа: http://промкаталог.рф/PublicDocuments/1311687.pdf.

3. Джураева, Е. В. Эксергетический анализ процессов, происходящих в детандер / Е. В. Джураева, А. А. Александров // Теплоэнергетика. – 2005. – № 2. – С. 73–77.

УДК 644.12

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

КАЛИНИНА М.В., КГЭУ, г. Казань

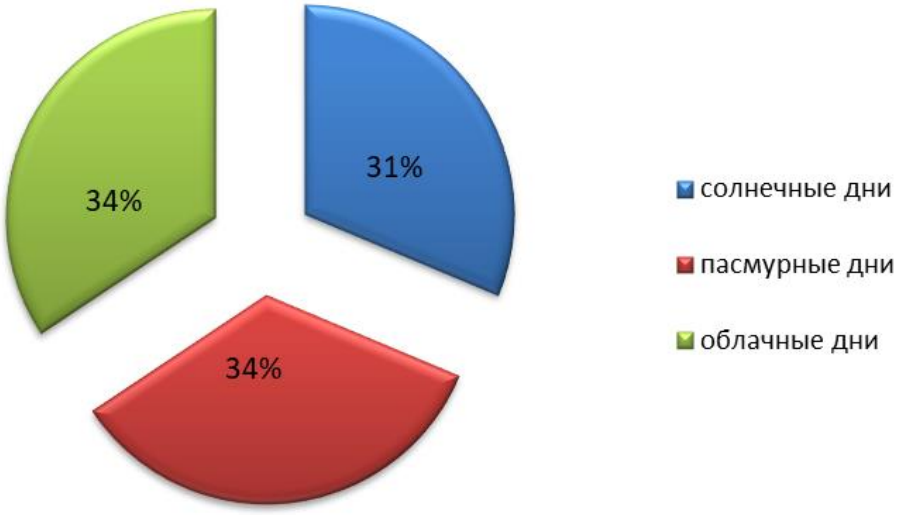
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

В современном строительстве имеет место бытьодноэтажная застройка. Для этого применяются облегчённые конструкции и местные строительные материалы. Именно этим объясняется их экономическая целесообразность. Бесспорными плюсами возведения одноэтажных жилых домов являются упрощённая механизация и более простая организация строительства.

В Татарстане самым солнечным районом является Мензелинский (порядка 2066 св.ч), а наименее солнечным – Бугульминский (1763 св.ч.). Суммарная солнечная радиация за год составляет примерно 3900 Мдж/кв.м [1].

По данным портала russia.pogoda360.ru, солнечных дней в г. Мензелинске в декабре – 31 %, облачных – 34 %, пасмурных – 34 % (см. рис.). Эффективность солнечного коллектора в пасмурную погоду близка к нулю. Нет солнца — нет тепла. Энергию рассеянного солнечного излучения соберут вакуумные трубки, но при передаче ее воде бака могут возникнуть потери в теплотрассе и самом баке. В пасмурные и облачные дни поддержкой температуры в баке занимается электрический ТЭН. Он предусмотрен во всех буферных емкостях [6]. Если ТЭНа нет или он отключен, теплопотери бака ничем не компенсируются. Температура воздуха в бойлерной сравняется с температурой воды в баке. Скорость ее остывания зависит от теплоизоляции бака и температуры внутри помещения [4]. По эмпирическим данным потеря тепла составляет порядка 5–8 ºС за 12 часов (ночь) при разнице температур в баке и помещении около 25 ºС . Если за сутки плотные тучи так и не рассеялись, бак остынет на 10–16 °С. А за два дня потеряет все накопленное тепло [2].

В облачную погоду можно рассчитывать на небольшое количество солнечного излучения, проходящего на данную установку. При благоприятных условиях удастся компенсировать естественное остывание бака.



Процентное соотношение дней

При соблюдении всех требований и рекомендаций по эксплуатации солнечного коллектора: угла наклона, отсутствия затемнения – не может быть и речи о рассмотрении коллектора как единственного источника тепла. Он должен использоваться как дополнение к основному оборудованию. В теплые месяцы (с мая по сентябрь) солнца становится много, а потребность в отоплении исчезает. Тем самым, при благоприятных условиях покрываются 70 % потребности на горячее водоснабжение [3].

Солнечные коллекторы обретают все большую популярность среди владельцев частных домов. Это устройство позволяет существенно сэкономить электроэнергию при нагреве воды. Данный агрегат является актуальным практически для любого региона России [5].

Литература

1. Авдеев, С. И. Реализация солнечной энергии / С. И. Авдеев // Солнечная энергетика. – 2012.

2. А. И. Алексеенко // Экожурнал «Зеленая планета». – 2014.

3. Калинина, М. В. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии / М. В. Калинина, А. Е. Кондратьев // Международная молодежная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам. – ПГТУ, 2016. – С. 24.

4. URL: http://www.solarhome.ru/basics/pv/techcells.htm.

5. URL: http://termoframe.ru/koefficient-poleznogo-dejstviya-solnechnyx-batarej.html.

6. URL: https://russia.pogoda360.ru.

УДК 621.182

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ

КАРЯЖНИКОВ К.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЗИГАНШИН Ш.Г.

В современных условиях развития энергосбережение и повышение эффективности использования ТЭР являются немаловажными факторами социально-экономического развития Российской Федерации. Актуальность энергосбережения в промышленной энергетике вызвана погодными особенностями и географическим расположением нашей страны.

Еще в XX веке задача энергосбережения являлась актуальной и важной, что подтверждается огромным опытом проведения и наличием большого количества методик оценки энергетических показателей коммунально-бытового хозяйства и промышленных производственных предприятий.

Несмотря на очевидную необходимость повышения энергетической эффективности промышленных производственных предприятий, особое внимание к энергосбережению в топливно-энергетическом комплексе проявилось сравнительно не так давно, что было простимулировано Федеральным законом «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также законом «О теплоснабжении», вступившим в силу относительно недавно.

Реконструкция котельных подразумевает под собой частичную или полную замену морально и физически устаревшего оборудования на новое, применение технически более современного теплового источника, оптимизацию технологического процесса системы с целью повышения коэффициента полезного действия работы установки, снижение доли эксплуатационных затрат и достижение котельной полного соответствия современным требованиям к технологическому оборудованию.

Сейчас все мировое сообщество озадачено вопросом повышения энергоэффективности и рационального использования энергии. Поэтому возникла проблема реконструкции системы теплоснабжения и важным аспектом в данном вопросе является модернизация отопительных котельных.

Продолжительная эксплуатация современных модернизированных котлов наглядно показала, что данный подход к решению проблемы приводит к желаемому результату, а именно снижению удельного расхода топлива, значительному сокращению выбросов, повышению надёжности и уровня качества регулирования их работы.

Вовремя проведенная реконструкция котельной, ее оборудования в значительной мере повышает тепловую эффективность объекта, а также непосредственно влияет на количество тепловой энергии и мощность, которую котельная способна отпускать потребителю. Кроме того, в результате реконструкции повышается надежность всего ее основного и дополнительного оборудования котельной. Проведение реконструкции и модернизация котельной способствуют росту качества услуг по снабжению теплом, предоставляемых абонентам.

Материальные средства, затраченные на модернизацию котельной, окупаются путем увеличения эффективности работы объекта за относительно короткий срок, после чего осуществляется экономия как финансовых, так и топливных ресурсов.

Новые модели котлов и вспомогательного оборудования, устанавливаемые в результате реконструкции, легко совмещаются с информационными технологиями, что предоставляет не только полный контроль над системой, но и простоту и точность управления характеристиками работы котельной.

В результате проведения реконструкции повышается КПД объекта по причине обновления котлов, снижается расход топливных ресурсов, уменьшается энергопотребление объекта на собственные нужды, кратчайшие сроки траты на эксплуатацию и техническое обслуживание котельной будут минимальными. Реконструкция даст возможность не только повысить эффективность функционирования котельной, но и нивелировать трудовые, временные и финансовые расходы на ремонтные работы или замены окончательно вышедшего из строя оборудования.

Результатом проведенных мероприятий по модернизации и оптимизации деятельности котельной должно стать повышение ее коэффициента полезного действия, снижение удельных затрат на производство единицы энергии и, как следствие, увеличение экономической эффективности.

Таким образом, модернизация котельных представляется важной и актуальной проблемой, требующей внимания и подробнейшего рассмотрения как с экономической, так и с экологической и технической точек зрения.

Литература

1. Кунсбаев, У. А. Модернизация водогрейной котельной / У. А. Кунсбаев, А. Ю. Трофимов // Трубопроводный транспорт-2016. – 2016. – С. 368–369.

2. Серикбосын, Е. А. Модернизация системы водогрейного котла / Е. А. Серикбосын, О. В. Гальцева //Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2015. – Т. 15. – № 4. – С. 247–249.

3. Чернов, С. С. Оценка эффективности реализации проекта реконструкции котельной в рамках государственно-частного партнерства / С. С. Чернов, М. В. Фильченкова // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2015. – № 3. – С. 109–114.

4. Ким, С. Л. Обоснования модернизации котельной установки / С. Л. Ким // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2015. – № 5. – С. 26–29.

5. Гумерова, Р. Х. Энергетическая эффективность модернизации котельной промышленного предприятия / Р. Х. Гумерова, Р. А. Черняховский // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2016. – Т. 72. – № 2. – С. 25–31.

6. Комбинированная выработка энергии на котельных установках / Р. О. Кожухов и др. // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2015. – № 1. – С. 35–41.

УДК 664.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА САХАРНОМ ЗАВОДЕ

КАЮМОВ Р.Ф., КАЛАЧЕВ Н.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАЛИЕВ Р.Н.

Реальная ограниченность промышленных предприятий в финансовых средствах требует выбора наиболее рационального набора энергосберегающих мероприятий и определения очередности их внедрения, что особенно сложно, если реконструкции подвергается производство, которое состоит из значительного количества связанных элементов [1].

Теплотехнологическая схема производства сахара – это сложный комплекс оборудования, объединяющий множество элементов с протекающими в них процессами. Основные тепловые процессы, из которых состоит производство сахара, – это нагрев, выпаривание, варка, кристаллизация, сушка [2].

В условиях продолжающегося планомерного роста цен на топливно-энергетические ресурсы уровень удельных затрат топлива и энергии в производстве сахара оказывает значительное влияние на его себестоимость. При решении задачи повышения эффективности теплоиспользования на сахарном заводе за счет внедрения энергосберегающих мероприятий первостепенным является уменьшение затрат теплоты в виде водяного пара. Для производства водяного пара на котельной сахарного завода тратится до 80 % от общего количества приобретаемого топлива. Поэтому для сахарных заводов снижение потребления водяного пара в технологических процессах – это важное направление экономии ТЭР.

Объектом исследования в работе является теплоиспользование на ОАО «Заинский сахар». Целью работы является изучение теплотехнологии производства сахара и определение мероприятий, применение которых позволит повысить его эффективность за счет снижения энергетической составляющей его себестоимости.

В результате изучения теплотехнологической схемы производства сахара были определены нагреваемые и охлаждаемые потоки, их термодинамические и расходные параметры и рассмотрены основные мероприятия, применение которых позволит повысить эффективность теплоиспользования и снизить потребление технологического пара и электричекой энергии: 1) усовершенствование техпроцесса и применение современного оборудования; 2) использование теплоты вторичных источников (утфельный пар и др.); 3) улучшение теплоизоляции; 4) совершенствование схемы производства и распределения тепловой энергии; 5) реконструкция конденсаторов вакуум-аппаратов и испарительной установки; 6) применение ингибиторов накипеобразования для уменьшения отложений на теплообменных поверхностях; 7) обеспечение высокого уровня использования вторичных энергоресурсов с целью уменьшения величин пароотборов из испарительной установки; 8) внедрение тиристорных и частотных электроприводов для автоматического регулирования скорости вращения (центрифуги, насосы и т.п.).

Особый интерес при рассмотрении вызвало мероприятие по использованию вторичного пара из продуктового отделения, основанное на применении технологии повышения температуры и давления такого пара, в специально созданных для этого нагнетателях. Основные схемы, в которых имеет место быть данное мероприятие: в вакуум-аппаратах непрерывного действия; при выпаривании в продуктовом отделении; на дополнительных

установках (например, в теплообменниках). Результаты, достигнутые авторами [3], указывают на то, что применение паровых компрессоров и вентиляторов при выпаривании на рассматриваемом производстве позволит существенно снизить расход энергии на производство сахара в целом, при условии длительной эксплуатации и подходящего соотношения цен на топливо и электроэнергию.

Реализация предлагаемых мероприятий в производстве сахара, позволит уменьшить потребление водяного пара с 60–70 кг до уровня равного 40–50 кг пара на 100 кг перерабатываемой свеклы.

Литература

1. Филоненко, В. Н. Теплоэнергетика сахарного производства: технико-экономический аспект / В. Н. Филоненко, О. В. Никитин // Сахар. – 2006. – № 5. – С. 26–30.

2. Хомичак, Л. М. Технологические аспекты энергосбережения в производстве сахара и свеклы / Л. М. Хомичак // Сахар. – 2006. – № 5. – С. 42–45.

3. Dudgeon, V. P.; Messer, M. W.; Krishnan, L. C. (2005): Supply of Four (4) Single Stage Centrifugal Steam Cempressours for Al Kahleej Sugar Co. SIT Paper 886 presented at the 54th Meeting, 3-6 April.

УДК 620.9

АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СТАНЦИИ НА ЛУНЕ

КУРИЦЫНА К.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Лунный научно-исследовательский комплекс состоит из жилых модулей, помещений общего назначения, блока жизнеобеспечения и агрегатов систем обслуживания (радиаторы, отражатели и т.д.), санитарно-гигиенического блока, ресторана; адаптационно-реабилитационного центра, комплекса медицинского обеспечения, спортивного сектора, центра управления системами жилой зоны, мастерских технического обслуживания, службы связи с Землей и внутрибазовой связи. Учитывая специфические условия существования на Луне, была разработана схема использования солнечной энергии в целях отопления исследовательской станции [1]. Основной проблемой является обеспечение теплом помещения в период лунной ночи. Ее решением стал аккумулятор тепла, расположенный под станцией внутри лунных пород.

Тепловой аккумулятор – устройство для аккумулирования тепловой энергии, основанное на использовании физического или химического процесса, связанного с поглощением и выделением теплоты. К основным из них относятся накопление – выделение внутренней энергии при нагреве – охлаждении твердых или жидких тел, фазовые переходы с поглощением – выделением скрытой теплоты, процесс сорбции – десорбции или обратимая химическая реакция, протекающая с выделением – поглощением тепла.

Аккумуляцией (аккумулированием) тепловой энергии, или теплоты называется процесс ее накопления в период наибольшего поступления для последующего использования, когда в этом возникнет необходимость. Процесс накопления энергии называется зарядкой, процесс ее использования – разрядкой.

Существуют различные типы тепловых аккумуляторов, успешно применяемых в бытовых системах отопления.

По интервалу рабочих температур тепловые аккумуляторы можно разделить на 4 группы:

– для производства холода – $T < 20$ °C;

– низкотемпературные – 20 °C < $T < 200$ °C;

– среднетемпературные – 200 °C < $T < 500$ °C;

– высокотемпературные – $T > 500$ °C.

Наиболее широкое применение нашли низкотемпературные тепловые аккумуляторы, использование которых связано с системами жизнеобеспечения человека, экологически чистыми способами производства энергии и оптимизацией ее потребления.

По временному фактору различают аккумуляторы теплоты: краткосрочного и долгосрочного действия [2]. Время цикла работы аккумулятора тепла (далее АТ) краткосрочного действия не превышает продолжительности суток. В АТ долгосрочного действия продолжительность процессов зарядки и разрядки может достигать годового периода. Конструктивное различие между первыми и вторыми сказывается, в первую очередь, на их размерах, что связано с необходимостью аккумулирования разного количества теплоты. Кроме того, АТ долгосрочного действия необходимо хорошо теплоизолировать из-за необходимости длительного хранения запасенной теплоты. Низкие температуры держатся порядка 2 недель, поэтому целесообразно применять агрегаты долгосрочного действия.

Принцип действия теплового аккумулятора. Нагретая с помощью солнечного коллектора смесь газов частично поступает на отопление, а остальная часть – в аккумулятор. В период лунного дня в нем происходит накопление тепловой энергии. В течение 2 недель, когда солнце не освещает коллектор, теплоснабжение жилого блока осуществляется за счет аккумулятора тепла – происходит его разрядка.

Предложенный метод решения проблемы существования и нормального функционирования персонала на Луне эффективен. Тепловая энергия почти полностью полезно используется. Не возникает сложностей с отоплением в период низких температур на поверхности.

Литература

1. Курицына, К. С. Схема использования солнечной энергии в целях отопления исследовательской станции на луне / К. С. Курицына // XXI Аспирантско-магистерский семинар, посвященный дню энергетика. – Казань, 2017.

2. Иванов, В. Л. Приемники и аккумуляторы теплового излучения Солнца: учебное пособие / В. Л. Иванов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

УДК 621.577

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА ТЕПЛОТЫ К СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

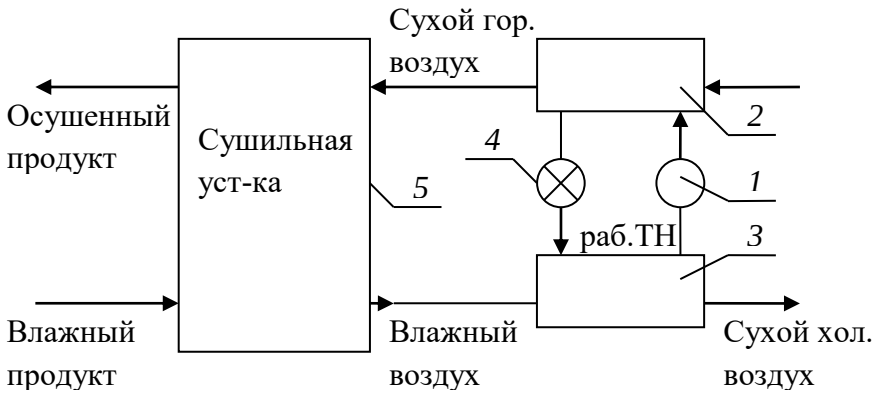
МУЗЮКОВА Д.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) является крупным потребителем энергии. Значительное внимание уделяется вопросам энергосбережения в ЦБП, так как энергетический фактор во многом определяет себестоимость продукции. Одним из путей повышения энергоэффективности ЦБП является рациональное использование сбросной энергии.

Значительную роль в повторном использовании сбросной энергии, имеющейся на ЦБП, может сыграть тепловой насос (ТН), включенный в схему сушильной установки [1].

Схема включения теплового насоса (см. рис.) для утилизации сбросной теплоты в виде теплоты отработанного влажного воздуха сушильной установки бумагоделательной машины следующая: холодный воздух поступает в конденсатор теплового насоса, где нагревается до нужной температуры и направляется в сушильную камеру с замкнутой циркуляцией воздуха [2]. Замкнутый цикл и мягкий режим создают благоприятные условия для сушки древесной массы без возникновения пережигания. В сушильной камере происходит удаление влаги до определенного значения сухости, после чего насыщенный влагой воздух проходит через теплообменник-испаритель насоса, где охлаждается и осушается (часть влаги конденсируется) до температуры ниже точки росы, далее выводится наружу, а произведенное тепло вместе с теплотой выпаривания применяется для обогрева камеры (рисунок).



Принципиальная схема сушильной установки с утилизатором теплоты уходящего воздуха: *1* – компрессор; *2* – конденсатор; *3* – испаритель; *4* – дроссельный клапан; *5* – сушильная камера

В результате использования ТН экономия рабочего пара по сравнению со схемой без применения сбросной теплоты составила 60 %.

Литература

1. Лакомов, И. В. Применение теплового насоса в различных схемах сушильных установок / И. В. Лакомов, Ю. М. Помогаев // Вестник ВГАУ. Воронеж. – 2016. – № 2(49). – С. 130–135.

2. Филонова, И. И. Организация системы утилизации вторичных энергетических ресурсов крупнотоннажного промышленного предприятия на основе трансформаторов теплоты / И. И. Филонова, Л. В. Плотникова, Г. И. Ефремов // Вестник МГОУ. – 2011. – № 4. – С. 24–28.

УДК 620.17(035)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛА

МУКАТДАРОВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Повышение качества металла, безопасности и надёжности оборудования, а также его составляющих может быть достигнуто при условии усовершенствования производства и введения системы управления качеством. Основой высокого качества металла теплоэнергетического оборудования и различных приборов являются геометрические, физические и функциональные характеристики, а также технологические показатели качества. Широкое применение неразрушающих методов контроля, не требующих извлечения исследуемых образцов или разрушения готовых деталей, помогает сэкономить время и деньги, обеспечить частичную или полную автоматизацию операций контроля при существенном повышении качества и надежности изделий [3].

Целью неразрушающего контроля является получение информации о качестве металла и оборудования при взаимодействии их с веществами или физическими полями в виде звуковых, световых или других различных сигналов. По ГОСТу 18353-79 существует девять основных видов неразрушающего контроля: магнитный, радиационный, вихретоковый, радиоволновой, электрический, акустический, тепловой, оптический, а также молекулярный [2].

Методы неразрушающего контроля разделяются по характеру взаимодействия физических полей или веществ с исследуемым образцом, первичным информативным признакам и способам получения начальной информации.

Магнитный контроль – основой данного метода является анализ взаимодействия магнитного поля с исследуемым образцом. Применение магнитного контроля заключаются в изучении магнитных свойств металлов, в частности, размагничивающего фактора, магнитного сопротивления и преломления магнитных силовых линий [2].

Электрический контроль – основан на использовании фиксирования параметров электрического поля или возникающего в нём стороннего воздействия, взаимодействующих с объектом, над которым производится исследование [2].

Вихретоковый контроль – используется на основании взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в исследуемом образце, плотность которых зависит от свойств материалов [2].

В радиоволновом контроле за основу берётся использование взаимодействия радиоизлучений с материалами контролируемых изделий. Оно наблюдается в процессе поглощения, дифракции, отражения, преломления падающей волны или взаимодействия падающей или отраженных волн. В добавок ко всему, в радиодефектоскопии могут применяться специфические резонансные эффекты взаимодействия радиоволнового излучения [2].

Тепловой контроль – это регистрация изменений тепловых или температурных полей исследуемых образцов, вызванных несовершенствами деталей [2].

Оптический контроль – используется на явлении взаимодействия излучения света с поверхностью контролируемого объекта. При падении света с потоком излучения на образец происходит разложение его на составляющие [2].

Акустический (ультразвуковой) контроль – организован путём применения ультразвуковых волн [2].

Молекулярный контроль – основан на проникании веществ и фиксации индикаторного рисунка открытой поверхности [2].

Радиационный контроль – основан на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с исследуемым изделием. К ионизирующим излучениям специалисты относят рентгеновские и гамма-излучения, а также потоки заряженных или нейтральных частиц. Рентгеновское излучение является электромагнитным и возникает в рентгеновской трубке при торможении ускоренных электронов [2].

Для создания безопасных условий эксплуатации всяческого оборудования все материалы нужно подвергать регулярным проверкам. Независимо от их новизны или долгого срока использования металлические изделия исследуются разнообразными методами дефектоскопии. Самый эффективный метод – ультразвуковая диагностика (УЗД), опережающая по точности результаты рентгено-, гамма-, радиодефектоскопии и др.

Важнейшими достоинствами данного метода являются: высокие точность и скорость исследования, а также его хорошая рентабельность. УЗД – метод, наиболее безопасный для человека (в отличие, к примеру,

от рентгеновской дефектоскопии) кроме того, существует возможность проведения выездной диагностики (благодаря наличию портативных ультразвуковых дефектоскопов). При проведении проверки методом ультразвукового контроля не требуется выведения исследуемой детали или всего объекта из эксплуатации, а также плюсом является то, что проверяемому объекту не наносятся повреждения, что присуще некоторым другим методам [1].

Но есть и недостатки, которые не позволяют сделать УЗК наиболее совершенным методом для контроля металла и оборудования. К ним относятся: ограниченность информации о несовершенстве, трудности при работе с образцами крупнозернистой структуры, которые возникают из-за сильного рассеяния и затухания волн, а также необходимость предварительной подготовки поверхности шва для самого исследования [2].

Таким образом, можно сказать, что ультразвуковой метод диагностики металлов является одним из наиболее перспективных по отношению к другим методам, он прост в применении, не требует больших финансовых затрат и практически в полной мере безопасен для дефектоскописта, а также даёт максимально точный результат исследования качества металла.

Литература

1. Е.Ф. Кретов Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении -Изд-е. 4-е, перераб. - Санкт Петербург: СВЕН, 2015. -312с.

2. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ. 1980-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005.

3. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2017. – 243 с.

УДК 621.181

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА НА ТЭЦ

МУСТАЕВ Д.В., ЗАЙНУЛЛИН М.Х., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАЛИЕВ Р.Н.

В данной работе рассматривается вопрос сжигания в энергокотлах ТЭЦ пылевидного нефтяного кокса вместо природного газа. Нефтяной кокс имеет большую теплотворную способность, чем уголь, характеризуется довольно низким выходом золы (не нужны большие золоотвалы)

и при всем при этом все еще продолжает считаться отходом производства. Само по себе его использование в виде альтернативы традиционному топливу не является чем-то особенным. В дальнем зарубежье технологии по сжиганию нефтяного кокса были доведены до стадии промышленной реализации еще в далеком 1979 году. Но покупка и монтаж импортного оборудования «с нуля» в нашей стране (в условиях санкций относительно экономики РФ) создают дополнительные риски для потенциальных инвесторов. Поэтому в России ищут и находят применение собственным разработкам.

В качестве энергопредприятия, на котором предполагается подвергать кокс нефтепереработки сжиганию, была выбрана бывшая Нижнекамская ТЭЦ-2 (ныне ООО), обеспечивающая теплотой и электричеством комплексы нефтехимии, стройиндустрии и жилищно-коммунального хозяйства города Нижнекамска. С июня 2010 года ТЭЦ эксплуатируется как дочернее подразделение ПАО «Татнефть». Основное оборудование ТЭЦ включает в себя девять энергокотлов, семь паротурбинных установок и два водогрейных котла. Электрическая мощность (установленная) составляет 724 МВт, тепловая – 1580 Гкал/час. Установленные мощности ТЭЦ загружены не полностью. Имеющийся резерв по оборудованию можно вновь включить в работу, если перевести его на сжигание более дешевого альтернативного топлива, которым является кокс нефтепереработки.

Источником, на котором вырабатывается кокс нефтепереработки, является технологическая установка замедленного коксования АО «ТАНЕКО». При полной загрузке энерготехнологического комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, из 7 млн тонн нефти в год образуется около 700 тыс. тонн кокса. При этом, чем более «тяжелая» нефть поступает на переработку, тем больше вырабатывается кокса в данном процессе. Выход кокса зависит не только от нефтяного состава, но и от объема добычи «черного золота». При сохранении теплового метода извлечения нефти объем загрузки заводов останется на прежнем уровне и в будущем.

При финансовых вложениях в реконструкцию оборудования источника генерации (примерно 10 млрд. рублей) можно найти решение для двух задач – утилизировать (в энергетических котлах) 700 тыс. тонн нефтяного кокса в год и получить годовую экономию от сокращения потребления природного газа в объеме 780 млн. кубических метров или 895 тысяч тонн условного топлива.

При полном использовании потенциала заявленного объема кокса в модернизированных энергокотлах будет производится до 900 тонн пара в час. Выработанный пар будет срабатываться в паротурбинных установках для получения вполне конкурентоспособной на рынке энергии (электрической и тепловой), но только при условии сохранения низкой цены на кокс и соблюдении требований экологического законодательства по вредным выбросам.

Проблемой сжигания кокса нефтепереработки занимаются во многих странах мира, в том числе и в РФ (тема исследования на сегодняшний день актуальна).

В мире применяются разные способы сжигания кокса в топках энергетических котлов: факельные, внутрицикловые газификационные, плазмотронные, циркуляционные в кипящем слое и другие [1, 2, 3]. В Башкортастане, на ТЭЦ Кумертау, среди прочих видов топлива сжигается кокс нефтепереработки как отдельно, так и совместно с углем. Строящийся Кингиссепский нефтехимический комплекс оборудуется собственной электростанцией на коксе нефтепереработки. Нефтяная компания «ЛУКОЙЛ» реализует проекты и внедряет технологию сжигания кокса нефтепереработки как в зарубежье, так и в РФ (на ТЭС ОАО «ЮГК ТГК-8»). Активно применяют подобные технологии в Китае.

Литература

1. Дубровский, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В. А. Дубровский. – М.: Изд-во Теплотехник, 2011. – 360 с.

2. Сжигание в кипящем слое – перспективная технология для низкосортных топлив / О. Н. Шевердяев [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 6. – С. 39–42.

3. Асланян, Г. С. Аналитический обзор. Экологически чистые угольные технологии / Г. С. Асланян // Центр энергетической политики. – М., 2004.

УДК 621.184

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ТИПА

НАСИБУЛЛИН А.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАЛИЕВ Р.Н.

В воздухоподогревателях регенеративного типа поток горячих дымовых газов через теплообменную поверхность в виде вращающегося ротора передает теплоту параллельно движущемуся ему навстречу потоку

холодного воздуха. Из-за разности давлений между этими потоками в районе нижних и верхних секторных плит возникают присосы (перетоки) воздуха из воздушного в газовый тракт, что ухудшает эффективность процесса предварительного подогрева воздуха перед его подачей в топку. При продолжительной работе воздухоподогревателя с пониженной герметичностью происходит перерасход топлива, из-за чего возникает проблема своевременного выявления и устранения возникшей неисправности.

Согласно нормативным документам [1, 2], после проведения плановых контрольных испытаний энергокотлов и вспомогательного оборудования котлоцеха до и после окончания любых ремонтных работ проводится анализ функционирования котельной установки с оценкой эффективности в составе технологической схемы. Анализ и оценка эффективности осуществляются по результатам испытаний, данным отчетов и ведомостей.

Текущий температурный напор в набивке воздухоподогревателя характеризует качество чистоты ее поверхности [3]. Для оперативной оценки показателей тепловой эффективности работы воздухоподогревателей регенеративного типа на Набережночелнинской ТЭЦ предлагается определять температурные напоры и коэффициенты тепловой экономичности по приборам, которые измеряют температуру дымовых газов и воздуха. Для определения тепловой эффективности воздухоподогревателей составлена методика расчета температурных напоров и коэффициентов тепловой экономичности по текущим значениям температур дымовых газов и воздуха, которая опробована на примере действующего котельного агрегата.

Краткая последовательность действий по предложенной в [4] методике:

1) заполнение таблицы оперативных исходных данных;

2) расчет эффективности работы воздухоподогревателя по воздушной стороне;

3) расчет эффективности работы воздухоподогревателя по газовой стороне;

4) определение коэффициента тепловой эффективности воздухоподогревателя;

5) обработка и анализ полученных результатов;

6) принятие решений.

Полученные результаты:

1. В режиме реального времени проведена оперативная оценка деятельности воздухоподогревателей регенеративного типа, выполнено сравнение фактических показателей с предыдущими значениями.

2. Выявлено различие между показателями тепловой эффективности воздухоподогревателей регенеративного типа, установленных на нитках «А» и «Б» от котельного агрегата ст. № 9.

3. Выявлены и устранены непроизводительные потери.

Литература

1. РД 34.26.617-97. Методика оценки технического состояния котельных установок до и после ремонта. – М.: СПО ОРГРЭС, 1998. – 12 с.

2. СТО 70238424.27.060.01.008 - 2009. Воздухоподогреватели регенеративные вращающиеся РВП-54, РВП-68, РВП-9,8. Групповые технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. – М.: ЦКБ Энергоремонт, 2010. – 129 с.

3. Равич, Р. Б. Эффективность использования топлива / Р. Б. Равич. – М.; Наука, 1977. – 344 с.

4. Мониторинг тепловой эффективности регенеративного воздухоподогревателя регенеративного типа РВП-54 [Электронный ресурс] / Р. Н. Валиев [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – Режим доступа: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4220. – Загл. с экрана.

УДК 620.179:621.64

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

НИГМАТУЛИНА А.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

В связи с интенсивным старением трубопроводных систем наличие современных технологий не означает, что дефекты, которые снижают качество продукции отсутствуют. Детали трубопровода могут быть допустимыми и недопустимыми: это зависит от расположения, характера и размеров этих дефектов, а также от условий работы деталей трубопровода. Таким образом, в связи с быстрым старением трубопроводных систем вопрос об усовершенствовании методов их технического диагностирования имеет приоритетное значение. Данную информацию получают для определения того предельного состояния трубопровода, когда его дальнейшая эксплуатация становится невозможна. Во время эксплуатации трубопроводы подвергаются разным внешним и внутренним воздействиям,

в результате чего происходит коррозия, старение материала, возникновение и развитие трещин усталости на поверхностях труб и другие виды дефектов. Даже несмотря на то, что благодаря развивающимся современным технологиям проектирование трубопроводов, изготовление и последующее обслуживание теоретически обеспечивают должную реализацию качественного ресурса, полностью исключить возможность появления дефектов невозможно. Итак, методы неразрушающего контроля применяются в большинстве случаев для избегания последствий, к которым может привести прорастание дефектов в трубопроводе.

По ГОСТ 18353-79 методы неразрушающего контроля разделяются на следующие виды [1]: акустический (ультразвуковой, свободные колебания, вынужденные колебания), радиационный (рентгеновский), тепловой и др.

В акустическом методе контроля качества для обнаружения местоположения и размера дефектов используются акустические волны. Одним из главнейших преимуществ такого метода является то, что он может быть применен практически для любого материала, а также его быстрота, доступность, экологичность и удобность транспортировки [2]. Из них можно особо выделить низкочастотные методы – вынужденных и свободных колебаний. Они отличаются достаточно низкой стоимостью и высокой степенью экологичности, а также для работы с ними не требуются высококвалифицированные специалисты. Использование методов вынужденных и свободных колебаний в комплексе с другими методами неразрушающего контроля значительно повышает качество контроля и, как следствие, надежность трубопроводов. Применение акустических методов неразрушающего контроля качества на начальной стадии производства также экономит средства за счет отбраковки недоброкачественного металла и заготовок перед дорогостоящей механической обработкой [3].

Сущность таких методов заключается в анализе акустического отклика исследуемого объекта. Преобразование акустического отклика в спектр и последующий их анализ дефектных и бездефектных образцов с созданием банка данных позволяет достаточно точно определять степень годности исследуемых изделий независимо от материалов, из которых они изготовлены. Если говорить о применении анализа относительно различных материалов, то в трубопроводах из композиционных материалов источниками отклика являются различного типа расслоения, а в металлических конструкциях – появление и рост трещин или развитие пластической зоны.

Литература

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ. 1980-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005.

2. 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.

3. Жумаев, К. К. Выявление внутренних и наружных дефектов трубопроводов ультразвуковыми дефектоскопами / К. К. Жумаев, Н. О. Каландаров // Молодой ученый. – 2014. – № 16. – С. 67–68.

УДК 536.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЦИФРОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ЛЕТНИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ПАРФЕНОВ Г.И., АНГЕЛОВ В.И., ЛАПАТЕЕВ Д.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук.: канд. техн. наук, доц. ЗАХАРОВ В.М.; доц. СМИРНОВ Н.Н.

Разработка новых конструкций измерительных трансформаторов напряжения является актуальной задачей для технического и коммерческого учета потребленной электрической энергии. Электрические процессы, происходящие в делителях, состоящих из группы резисторов, связаны с выделением тепловой энергии. Перегрев резистора может привести к выходу из строя данной измерительной техники [1]. В связи с работой таких делителей летом в условиях высоких значений температуры воздуха, солнечной энергии и возможного превышения номинальных значений напряжения в электрических сетях важной задачей является исследование теплообмена трансформатора с окружающей средой.

На промышленных предприятиях (с высоким потреблением электрической энергии преимущественно в дневное время суток) замеряется самое теплонапряженное состояние цифрового трансформатора во второй половине дня на западной стороне данного измерительного оборудования.

Была создана математическая модель теплообмена цифрового трансформатора с окружающей средой при эксплуатации в г. Сочи для летних условий работы. Математическая модель была реализована в программном комплексе COMSOL MULTIPHISICS.

В лаборатории кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «КГЭУ» была создана климатическая камера, в которой была выполнена серия физических экспериментов по изучению влияния электрического напряжения, высоких температур окружающего воздуха и инсоляции на температурный режим работы резистивного делителя напряжения. Изучалась динамика происходящих процессов. Задавались различные скоростные режимы, создавались условия естественной и вынужденной конвекции. Рассматривались профили скоростей с помощью дыма. Данные исследования необходимы для корректного описания коэффициентов теплоотдачи на поверхностях трансформатора напряжения.

Температура окружающего воздуха поддерживалась в климатической камере в пределах 40 °С с помощью измерителя-регулятора ИРТ-4/16 и радиатора, интенсивность инсоляции на поверхности трансформатора устанавливалась с помощью зеркальной лампы накаливания в пределах 500 Вт/м^2. Напряжение задавалось в нормируемом значении и при работе в аварийном режиме. Температуры сред и поверхностей определялись с помощью платиновых термометров сопротивления, измерителя влажности и температуры ИВТ и тепловизора. Скорости воздуха в различных точках фиксировались с помощью термоанемометра.

Теплопроводность силиконового заполнения была определена в калориметрической установке центра АНО «Ивановостройиспытания».

В ходе исследований было выяснено, что обдув поверхности трансформатора воздушными потоками повышает коэффициенты теплоотдачи на поверхности измерительного прибора и снижает температуры резисторов. Воздействие инсоляции на резистор повышало его температуру на 15–25 °С в зависимости от значений напряжения.

Данные результаты способствуют более качественному описанию тепловых процессов, происходящих в трансформаторе, для разработки алгоритмов тепловой диагностики работы оборудования.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по теме «Мультифункциональная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровой подстанции» (Соглашение № 14.577.21.0276 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57717X0276).

Литература

1. Lebedev, V. Analysing the thermal state of voltage transformer based on resistive voltage divider / V. Lebedev, V. Zhukov, A. Yablokov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – IOP Publishing, 2015. – № 93. – P. 1–6.

УДК 622.691.4.053

КОРРОЗИЯ ГАЗОПРОВОДА. ПОСЛЕДСТВИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

ПУСТЫННИКОВ С.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ВАНЬКОВ Ю.В.

В данной работе произведен анализ разрушения стальных газопроводов в результате коррозии металла на примере произошедших событий с предложенными решениями защиты.

Одной из главных проблем трубопроводного транспорта является поддержание рабочего состояния линейной части промысловых и магистральных газопроводов [2]. Благодаря систематическому контролю состояния подземных и надземных газопроводов и своевременной ликвидации появляющихся дефектов, многие исследования определяют, что стальные подземные газопроводы, экспатриирующиеся при нормальных условиях, находятся в удовлетворительном состоянии продолжительностью в несколько десятков лет.

Большие трудности и материальные затраты вызывают определение локализации и характер коррозионных и механических повреждений, которые являются главными причинами большинства дефектов трубопроводов. Коррозия – наиболее опасное разрушающее явление для стального трубопровода, в некоторых зонах она может достигать до 2–4 мм/год. За последние годы, как показывает статистика [3], число аварий, связанных с коррозией на магистральных газопроводах, превышает 70 % (рис. 1).

Последствия аварий бывают совершенно разные. Разрушения рассматриваемой конструкции во время ее эксплуатации могут приводить к большим материальным убыткам, загрязнению атмосферы, человеческим жертвам, так как зона их распространения может простираться на расстояния от нескольких метров до нескольких километров.



Рис. 1. Аварии магистрального газопровода за 2005–2016 гг.

На территории нашей страны насчитывается около 370 тыс. подземных газопроводов. Нормативный срок эксплуатации газопроводов 40 лет. В 2004 году протяженность газопроводов, отслуживших нормативный срок, составила порядка 7 % от общего числа, а 2014 году это значение достигло 12 % (рис. 2).

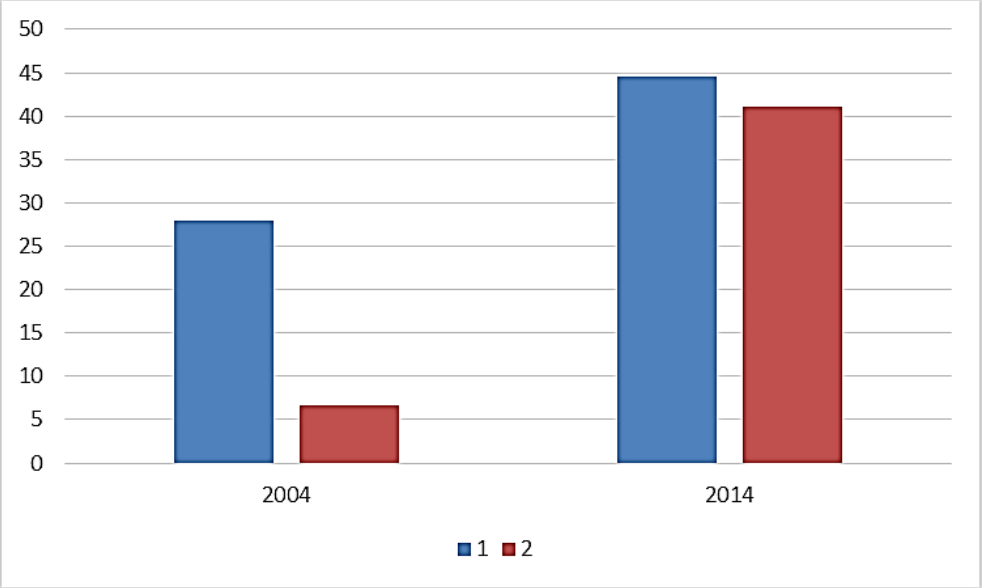


Рис. 2. Протяженность подземных газопроводов с истекшим сроком службы в год обследования, тыс. км: *1* – протяженность подземных газопроводов с истекшим сроком службы; *2* – продиагностированные газопроводы, с продленным сроком эксплуатации

Для предотвращения аварий необходимо обследовать подземные газопроводы на опережение норм сроков эксплуатации, проводить реконструкцию предполагаемо ненадежных сооружений, а также дополнительную защиту от коррозии прошедших испытания газопроводов.

На протяжении нескольких лет в России и в зарубежных странах силами специализированных научно-исследовательских и проектных организаций решают задачи определения состояния подземных и надземных промысловых, магистральных нефтепродуктопроводов без их вскрытия. Применение новейших программ и средств измерительной техники позволяет успешно устранять проблемы, связанные с большими техническими трудностями. Кроме того, правление ПАО «Газпром» утвердило «Программу комплексного капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов на 2016–2020 годы» [2].

Литература

1. ПАО «Газпром» [Электронный ресурс]. – М., 2003–2018. – Режим доступа: http://www.gazprom.ru.

2. РОСТЕХНАДЗОР: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М., 2003–2018. – Режим доступа: http://www.gosnadzor.ru.

3. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016 году. – М., 2017. – 397 с.

УДК 697.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ В ГОРОДЕ

САБИРОВА Л.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – это совокупность устройств, включающих в себя элементы теплового оборудования и располагаемых в отдельном помещении. ИТП гарантирует подключение к тепловой сети этих устройств, их трансформацию, работоспособность, распределение по типам потребления теплоносителя, управление режимами теплопотребления и его параметрами. Он предназначен для обеспечения горячим водоснабжением, вентиляцией и теплом жилых домов, объектов жилищно-коммунального хозяйства, а также производственных комплексов [2].

Характерной чертой использования индивидуальных тепловых пунктов является:

– возможность быстрого влияния на расход тепла за счет оптимизации режима его потребления, в зависимости от погоды;

– беспрерывная и безопасная работы;

– эксплуатация индивидуального теплового пункта показала, что современное оборудование этого типа, в отличие от других неавтоматизированных процессов, потребляет на 30 % меньше тепловой энергии;

– бесшумность;

– компактность;

– процесс работы автоматизирован [1].

Структура ИТП в общем виде зависит от обслуживания системы потребления. В его состав могут входить системы обеспечения отопления, горячего водоснабжения (ГВС), отопления и ГВС, а также отопления, ГВС и вентиляции. Таким образом в состав ИТП обязательно входят следующие устройства:

– теплообменники для передачи тепловой энергии;

– каркас запорного и регулирующего действия;

– приборы для измерения и контроля параметров;

– насосное оборудование;

– щиты управления и контроллеры.

Это основные устройства, которые присутствуют во всех ИТП. Кроме этого каждый конкретный вариант может иметь и дополнитльные узлы. Компановка типового ИТП представлена на рисунке.

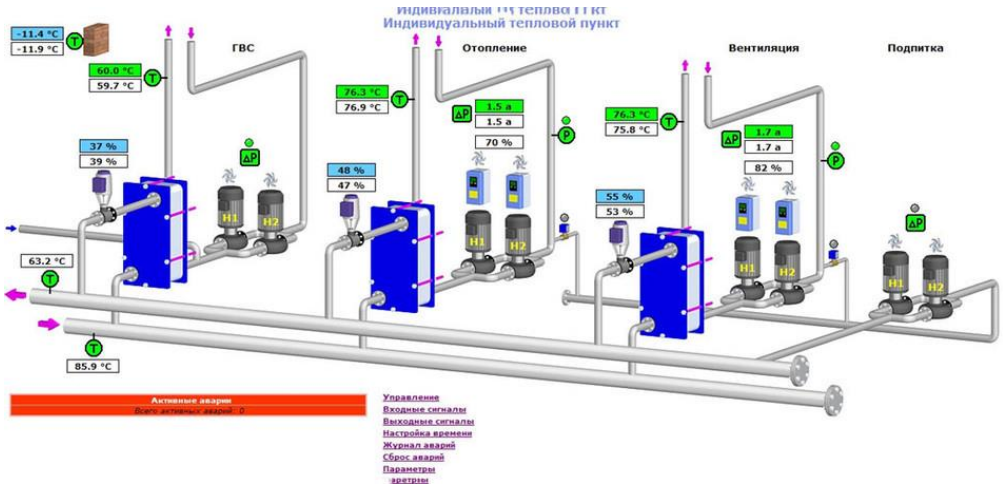


Схема индивидуального теплового пункта

Автоматизация ИТП – установка на элементах теплосети устройств, позволяющих выполнять сбор и сохранение информации о состоянии оборудования, передавать данные в систему диспетчеризации, обеспечивать регулирование и управление технологическими параметрами работы теплопунктов в автоматическом режиме и решать другие задачи.

Автоматизация ИТП позволяет:

– снизить и оптимизировать затраты теплоносителя;

– уменьшить энергопотребление;

– поддержать высокую точность соблюдения технологических параметров;

– повысить межсезонные циклы в 1,5-2 раза и срок службы оборудования в общем;

– снизить риск появления аварийных ситуаций;

– включить теплоэнергетический объект в централизованную систему диспетчеризации.

Таким образом, основными задачами автоматизированных тепловых пунктов являются:

– котроль подачи теплоносителя в системы отопления в зависимости от температурных параметров окружающей среды;

– сокращение максимального расхода теплоносителя;

– поддержка нужного перепада давления в трубопроводах тепловой сети;

– поддержка заданной температуры теплоносителя [3].

Литература

1. Ахметзянова, Л. Г. Комплексная модернизация тепловых пунктов в системах централизованноготеплоснабжения / Л. Г. Ахметзянова // Научному прогрессу – творчество молодых. – Йошкар-Ола, 2017.

2. Смирнова, М. В. Теоретические основы теплотехники / М. В. Смирнова. – М.: ИнФолио, 2016.

3. Халилова, Э. А. Индивидуальный тепловой пункт / Э. А. Халилова // XII Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения»: тезисы докл. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017.

УДК 62-681

ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАЦИОННОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЕЛЬНОЙ С КОТЛАМИ ПТВМ

САФУАНОВ Т.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

В настоящее время на котельных и электростанциях страны широко эксплуатируются котлы типа ПТВМ тепловой мощностью 30–180 Гкал/ч. Данные котлы имеют различные конструкторские дефекты [1], а именно:

– нарушения гидравлического и температурного режимов в поверхностях нагрева, которые могут привести к повреждениям труб;

– малый объем топки, следовательно, тепловые напряжения объема топки и большие подающие тепловые потоки в области горелок на экраны и на конвективный пучок, обращенный в топку. Что приводит к повышенной температуре уходящих газов;

– большое количество горелок, а именно 20 шт. для котла ПТВМ-180, работающих в комплекте с индивидуальными воздуходувками, осложняющее качественное регулирование соотношения «топливо-воздух», а также вызывающие обратный ток горячих газов через неработающие горелки;

– плотные поперечные шаги конвективных поверхностей нагрева и малые диаметры их труб, следовательно, низкие скорости газов в конвективных пакетах на номинальной тепловой нагрузке котла, что вызывает пережог труб;

– высокий избыток воздуха за котлом, вызываемый присосами холодного воздуха через неплотности обмуровки в местах соединения полутопок.

Данные отклонения снижают показатели экономичности котлов, что в условиях современного жесткого механизма тарифообразования вынуждает теплоснабжающие организации минимизировать их долю работы.

Для повышения технико-экономических экономических показателей (ТЭП) котлов ПТВМ был проанализирован ряд технических мероприятий [2, 3], на примере одной из действующих котельных города Казань, оборудованных котлами серии ПТВМ-180:

– мероприятия, требующие конструктивного изменения котлов, например, уменьшение количества горелок с увеличением их единичной мощности; для этого требуется полная замена экранных труб на нетиповую, установка импортных горелочных устройств, что значительно увеличивает финансовые затраты и в итоге приводит к сроку окупаемости неприемлемого для современных эконмических реалий;

– мероприятия требуют изменения компоновки и состава вспомогательного оборудования котлов, например, отказ от индивидуальных дутьевых вентиляторов с монтажом воздухопроводов и двух общих дутьевых вентиляторов, что в условиях значительной стеснённости главного корпуса и компактности монтажа оборудования требует выполнения значительного объема строительно-монтажных работ, что в итоге приводит к росту срока окупаемости;

– мероприятия не реализуемы в условиях действующей компоновки оборудования, например, замена типового конвективного пакета на модернизированный, с увеличенной площадью теплообмена, требует увеличения габаритов котла в верх, что приводит к необходимости переноса крышных грузоподъемных механизмов и изменению конструкции верхнего перекрытия главного корпуса, что увеличивает объем строительно-монтажных работ и приводит к росту срока окупаемости.

По итогам проведенного анализа было определено, что оптимальным мероприятием для улучшения ТЭП котельной с котлами ПТВМ-180 является применение конденсационных экономайзеров для глубокой утилизации тепла уходящих газов котлов ПТВМ-180 [4].

Основная задача конденсационного экономайзера – охладить продукты сгорания котла ниже точки росы и отобрать теплоту конден-сации для использования ее в полезных целях, а также использование конденсата дымовых газов в производственных целях.

Установка конденсационных экономайзеров за котлом позволяет решить такие задачи, как глубокое охлаждение уходящих газов, тем самым снизив тепловое загрязнение окружающей среды, а также повысить эффективность использования топлива. Утилизируемую тепловую энергию можно использовать для подогрева сырой воды, подогрева обратной сетевой воды перед входом в водогрейный котел.

Утилизатор устанавливается за дымососом котла ПТВМ-180 через новые газоходы, часть газов (около 25 %) отбирается из газохода котла, проходит через утилизатор, охлаждается и возвращается обратно в газоход [8].

По результатам анализа [5] была определена оптимальная схема глубокой утилизации дымовых газов, допустимая величина снижения температуры дымовых газов после утилизатора, обеспечивающая безо-пасные режимы эксплуатации дымовой трубы, параметры потоков теплоносителя, которые будут обеспечивать конденсацию дымовых газов, компоновочные решения по установке утилизатора тепла, технико-экономические показатели проекта.

Проведенный анализ показал эффективность предложенного мероприятия: в условиях действующей котельной реализация проекта позволит снизить удельный расход в среднем на 3,3 кг/Гкал, заместить более 10 тыс. $м^3$ подпиточной воды конденсатом дымовых газов, снизить тепловое загрязнение воздушного бассейна.

Литература

1. Модернизация водогрейных водотрубных котлов типа ПТВМ и КВГМ / В. И. Щелоков [и др.] // Новости теплоснабжения». – 2004. – № 5(45). – С. 59–62.

2. Барабаш, В. В. Модернизация водогрейных котлов КВГМ и ПТВМ: о внедренных технических решениях и новых разработках / В. В. Барабаш, В. А. Овчинников // Новости теплоснабжения. – 2013. – № 4(152). – С. 44–55.

3. Мунц, В. А. Модернизация существующих производственных котельных в мини-ТЭЦ / В. А. Мунц, Н. Ф. Филипповский, С. М. Степин // Новости теплоснабжения. – 2005 . – № 4. – С. 67–69.

4. Жихар, Г. И. Использование теплоты уходящих газов котельных агрегатов в контактном теплообменнике / Г. И. Жихар, В. А. Закревский // Теплоэнергетика. – 2010. – № 5. – С. 41–49.

5. Шадек, Е. Г. Оценка эффективности глубокой утилизации тепла продуктов сгорания котлов электростанции / Е. Г. Шадек // Энергосбережение. – 2016. – № 2. – С. 62–80.

УДК 621.438:004.4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОТОРА ГТД-16М И РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

ТАЗЕЕВ И.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

Балансировка роторов – это процедура компенсации неуравновешенных масс ротора. При вращении неуравновешенного ротора появляется сотрясение (вибрация) всей машины. В свою очередь, это может привести к разрушению подшипников, фундамента и, впоследствии, самой машины. Чтобы избежать этого, все вращающиеся части должны быть отбалансированы. Различают балансировку роторов статическую и динамическую. Первая выполняется на призмах, вторая при вращении балансируемой детали, на специализированных балансировочных станках.

Ротор турбокомпрессора ГТД-16М представляет собой вал, на одном конце которого находится диск турбины (рис. 1), на другом – крыльчатка компрессора (рис. 2). Ротор вращается на подшипниках качения, установленных в корпусе компрессора.

Работа заключалась в исследовании рассматриваемого ротора путем применения модального анализа в программном комплексе ANSYS для определения частот и форм (мод) собственных колебаний.

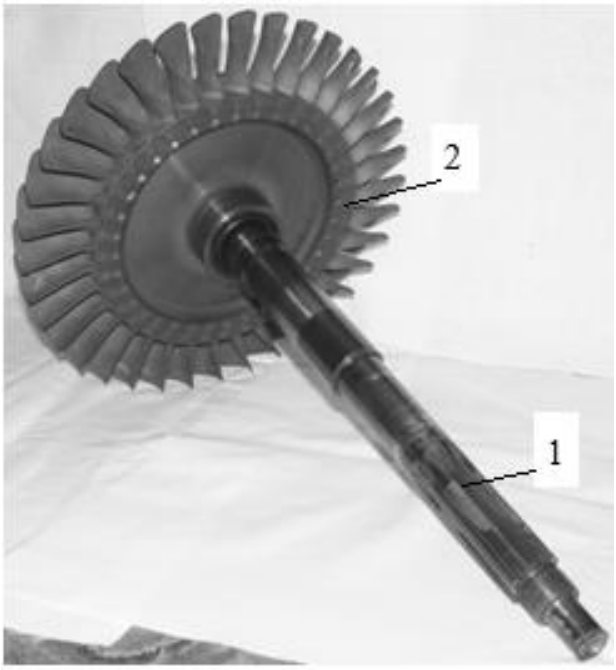


Рис. 1. Вал ротора турбокомпрессора с диском: *1* - вал; *2* - диск с лопатками



Рис. 2. Крыльчатка компрессора

Расчет собственных частот ротора ГТД-16М проводился в следующей последовательности:

– импортируется геометрия ротора в среду ANSYSWB из САПР Autodesk Inventor 2017 (рис. 3);

– задаются свойства материалов;

– устанавливаются контактные условия: фиксированное крепление по боковым граням модели вдоль оси вращения ротора и цилиндрическое крепление в местах опоры вала ротора. В силу того что модальный анализ является линейным, включением контактов в данный расчет можно пренебречь.

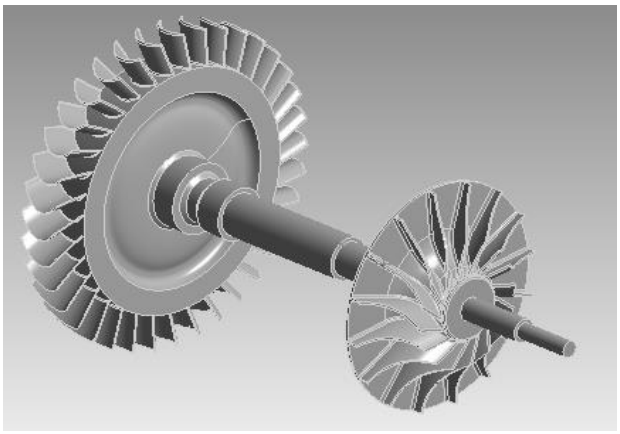


Рис. 3. Импортированная модель

В результате проведенного исследования определяются 24 первых мод колебаний рассчитываемого ротора. При анализе результатов модального расчета необходимо учитывать, что форма свободных колебаний вычисляется в относительных единицах и не позволяет определить абсолютные смещения.

Результаты сводятся в таблицу.

Моды колебаний исследуемого ротора

Номер мод колебаний	Частота, Гц.	Номер мод колебаний	Частота, Гц.	Номер мод колебаний	Частота, Гц.
1	269,67	9	1594,7	17	3190,8
2	394,52	10	1597	18	3227,2
3	395,1	11	1947,4	19	3550,9
4	428,13	12	2463,5	20	3564,6
5	703,52	13	2475,4	21	4022,3
6	704,88	14	2931,6	22	4147,5
7	1309,6	15	2936	23	4263,2
8	1313,1	16	3086,5	24	4267,8

Используя полученный диапазон частот собственных колебаний ротора, можно проводить балансировку ротора ГТД-16М на балансировочных станках доезонансного либо зарезонансного типа, в зависимости от собственные частот колебаний станины станка.

Литература

1. Рогов, В. А. Теоретические основы балансировки роторов турбокомпрессоров / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк, Р. Г. Мухарлямов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2005. – С. 8–11.

2. Кочкин, С. В. Метод измерения дисбаланса жестких роторов в режиме сферического циркуляционного движения / С. В. Кочкин, Б. А. Малев // Известия высших учебных заведений Поволжский регион. Технические науки. – 2007. – № 3. – С. 105–115.

3. Математическое обоснование способа определения статической неуравновешенности роторов // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харьков, 2014. – Вып. 31. – С. 99–104.

4. Кравченко, В. М. Техническое диагностирование механического оборудования: учебник для студентов вузов / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. Я. Седуш. – Донецк : ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. – 458 с.

УДК 536.3

ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ СМЕСЕЙ МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ ФРАКЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВАХ

ТАЙМАРОВ М.А., ЧИКЛЯЕВ Е.Г., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ТАЙМАРОВ М.А.

Метано-водородная фракция образуется на НПЗ как побочный продукт глубокой переработки нефти в частности на установках гидроочистки вакуумного газойля [1, 2]. Состав метано-водородной фракции изменяется в зависимости от длительности работы катализатора на установках гидроочистки. Метано-водородная фракция используется как топливный газ непосредственно в печах нагрева вакуумного газойля ОН-1000/1,2 на НПЗ и планируется к использованию в качестве газообраз-ного топлива в энергетических котлах на ТЭЦ [1, 3]. Теплопроизводительность печей нагрева ОН-1000/1,2 в значительной мере зависит от теплоты сгорания метано-водородной фракции. В настоящей работе произведен расчет теплоты сгорания по обобщенным составам типов смесей метано-водородной фракции по данным ОАО «Рязанский НПЗ». Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Теплота сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ метано-водородной фракции в зависимости от состава смеси

Компоненты	Содержание компонентов, мольных %				
Метан CH_4	30	38	46	54	62
Водород H_2	55	50	45	40	35
Этан C_2H_6	15	12	9	6	3
Низшая теплота сгорания в рабочей массе $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, МДж/м^3	25,29	25,78	26,27	26,76	27,25

Как видно из табл. 1, уменьшение содержания этана C_2H_6 в 5 раз не приводит к сильному снижению теплоты сгорания метано-водородной фракции, так как при этом возрастает количество метана CH_4 в среднем в 2 раза. Снижение содержания водорода не уменьшает теплоту сгорания метано-водородной фракции.

Наряду с составом метано-водородной фракции, отраженным в табл. 1, имеют место другие составы метано-водородных фракций, отличающиеся содержанием тяжелых газообразных углеводородов. При этом теплота сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ может существенно изменяться в сторону увеличения.

Это может привести к возрастанию величины теплового потока, падающего из топки на тепловоспринимающие поверхности нагрева пароперегревателя, расположенного в энергетических котлах типа ТГМ-84 в горизонтальном газоходе. Такая проблема имеет место даже при сжигании природного газа Уренгойского месторождения с содержанием метана 98,5 % (по массе) с теплотой сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ = 33,8 МДж/м^3 в топках котлов ТГМ-84Б Набережно-Челнинской ТЭЦ.

Увеличение падающего теплового потока из топки на тепловоспринимающие поверхности нагрева пароперегревателей горизонтального газохода приводит к пережогу металла труб диаметром 32 мм и толщиной стенки 4 мм, изготовленных из стали марки 12ХМФ.

Экспериментальные данные по диапазону изменения содержания горючих компонентов и теплоты сгорания метано-водородных фракций, используемых на НПЗ России в качестве топлива для собственных нужд, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Теплота сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ метано-водородных фракций, используемых на НПЗ в качестве топлива для собственных нужд

Горючие компоненты	Содержание горючих компонентов в % по массе		
Водород	13,5	9,27	2,74
Метан	13,83	15,65	67,95
Этан	11,62	13,37	4,88
Пропан	19,53	20,78	5,85
Бутан	17,36	19,58	6,5
Пентан	11,9	9,8	3,63
Гексан	0,48	0,38	0,24
Окись углерода	0,05	0,08	0,0
Сероводород	1,04	1,85	2,23
Плотность фракции, кг/м^3	0,482	0,607	0,709
Теплота сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, МДж/м^3	24,76	29,65	33,42

Как видно из табл. 2, диапазон изменения теплоты сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ метано-водородных фракций, используемых в качестве топлива для собственных нужд, достаточно широк. Поэтому использование метано-водородных фракций с высоким значением теплоты сгорания и повышенным содержанием водорода требует разработки новых конструкций горелок или модернизации существующих горелок для энергетических котлов ТЭС [4].

Литература

1. Сжигание метано-водородной фракции и мазута в котлах ТГМ-84А / М. А. Таймаров [и др.] // Вестник КГЭУ. – 2016. – № 4. – С. 83–95.

2. Comprehensive H_2/O_2 kinetic model for high-pressure combustion / M. P. Burke et al. // International Journal of Chemical Kinetics. – Wiley Periodicals, 2012. – Vol. 44. – № 7. – P. 444–474.

3. Причины повышения температуры на перевале печей при нагреве вакуумного газойля / М. А. Таймаров // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 20. – С. 73–75.

4. Таймаров, М. А. Газомазутные горелки: учебное пособие / М. А. Таймаров, Р. В. Ахметова. – Казань: КГЭУ, 2017. – 79 с.

УДК 621.314

ТРАНСФОРМАТОР ТЕПЛОТЫ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

ФЕДОРОВ М.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

Трансформаторы теплоты (ТТ) предназначены для повышения потенциала низкотемпературных потоков сбросной или нетрадиционной энергии, могут быть использованы для утилизации вторичной энергии крупных промышленных предприятий [1]. Для нужд теплоснабжения зданий предложено использование ТТ в виде теплового насоса (ТН) парокомпрессионного типа [2].

Проведены расчеты и оценена возможность применения ТТ для нужд отопления за счёт нетрадиционных источников энергии. Принцип работы схемы включения ТТ парокомпрессионного типа в систему теплоснабжения следующий: теплоноситель, нагретый от окружающей среды, проходит через испаритель ТН, где отдает теплоту во внутренний контур ТН.

Внутренний контур заполнен хладагентом, который, проходя через испаритель, переходит в газообразное состояние при низком давлении и температуре 5 °С. Из испарителя хладагент направляется в компрессор, сжимается, где, следовательно, при повышении давления повышается и его температура. Далее теплый газообразный хладагент поступает в конденсатор, где охлаждается, конденсируется и отдает теплоту в систему отопления. Нагретый в конденсаторе теплоноситель системы отопления поступает к отопительным приборам.

Для пятиэтажного здания, состоящего из двух блок-секций и включающего в себя 35 квартир, общей жилой площадью 274,5 кв. м. и суммарным теплопотреблением 240 кВт, был подобран тепловой насос. Для этого были проведены расчеты теплопотерь здания, а именно теплопотери через стены, окна, потолок, пол, потери с инфильтрацией с использованием прикладной программы «Online программа расчета теплопотерь дома» [3]. Учтены климатические данные местности, средняя температура последних лет, особенности грунта, оценено влияние различного рода утеплителей на глубину промерзания грунта. Выбран тепловой насос, работающий на нетрадиционной тепловой энергии земли, с включением грунтового горизонтального теплообменника типа НТ-300. Замкнутый контур теплообменника уложен в горизонтальные траншеи глубиной 4 м. Температура грунта на глубине свыше 4 м постоянна и соответствует среднегодовой температуре воздуха. Тепловые насосы НТ-300 выполнены по регенеративной схеме и состоят из маслозаполненного винтового компрессора с электродвигателем, конденсатора, испарителя, регенеративного теплообменника, терморегулирующих вентилей, блока приборов и масляной системы с маслоохладителем. В качестве рабочего агента используется фреон R-152a. Нагрев воды для целей теплоснабжения производится в конденсаторе и маслоохладителе ТН. Тепловые насосы НТ-300 имеют плавное регулирование производительности в пределах от 100 до 40 %. В ТН предусмотрены следующие виды автоматических защит: от повышения давления нагнетания, от понижения давления всасывания, от нарушения режима смазки, от повышения температуры нагнетания, от перегрева смазки.

Для теплового насоса рассчитанного здания выбраны фреоновый испаритель ИТР-105, конденсатор КТР-85, компрессор Copeland ZB-220-KCE-TWM-551. Коэффициент преобразования теплоты у данного теплового

насоса составил 2,43, что говорит о невысокой энергоэффективности внедрения ТТ. Технико-экономический расчет также показал, что применение ТТ на нетрадиционной энергии для нужд теплоснабжения в климатической зоне Республики Татарстан нерентабельно.

С учетом полученных результатов предлагается использование трансформаторов теплоты на городских сточных водах и сточных водах промышленных предприятий в связи с наличием значительного количества источника вторичной энергии – расхода воды, что приведет к повышению коэффициента преобразования теплоты и к окупаемости проекта внедрения термотрансформаторов.

Литература

1. Филонова, И. И. Организация системы утилизации вторичных энергетических ресурсов крупнотоннажного промышленного предприятия на основе трансформаторов теплоты / И. И. Филонова, Л. В. Плотникова, Г. И. Ефремов // Вестник МГОУ. – 2011. – № 4. – С. 24–28.

2. Конева, Н. С. Современные тенденции развития теплонасосной техники / Н. С. Конева, И. М. Пискун // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2015. - № 11. - С. 133-139. (Сер. Промышленность. Прикладные науки).

3. Online программа расчета теплопотерь дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://teplo-info.com/otoplenie/raschet_teplopoter_online.

УДК 658.511

НОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА КОТЕЛЬНЫХ

ХАРИТОНОВ В.А., МАКСИМОВ В.А., СЕРДЦЕВ С.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. АХМЕТОВ Т.Р.

Одним из основных инструментов повышения энергоэффективности, снижения потребления энергетических ресурсов при производстве тепловой энергии на котельных является нормирование потребления ТЭР.

Только технически грамотное нормирование и четко выстроенная система контроля за потреблением энергоресурсов позволит достичь максимального энергосберегающего эффекта.

Безусловно, необходимым фактором является наличие комплексов приборов учета на источнике тепловой энергии. При этом, под учетом должны находиться не только потребляемые энергетические ресурсы: топливо, электрическая энергия, вода, но и вырабатываемая тепловая энергия. Нормы потребления энергоресурсов должны быть приведены к единице вырабатываемой продукции – тепловой энергии.

Наибольшую сложность представляет нормирование потребления топлива. Объем вырабатываемой тепловой энергии зависит от температуры наружного воздуха – чем холоднее на улице, тем с большей мощностью и в большем количестве работают котлы на источнике тепловой энергии.

Удельная величина потребления топлива каждым котлом не одинакова при различной его загрузке. В общем случае, чем ближе величина загрузки котла к номинальной, тем выше его КПД и, соответственно, ниже удельный расход топлива.

Определение нормативного расхода топлива осложняется тем, что в котельных, как правило, устанавливается несколько котлов, которые последовательно вводятся в работу при понижении температуры наружного воздуха.

В связи с индивидуальными конструктивными и монтажными особенностями каждый котел на сопоставимой нагрузке имеет КПД, отличающийся от других котлов.

Таким образом, для полноценного нормирования потребления топлива необходимо учитывать не только режимные карты каждого котла, но и разрабатывать технологические карты работы котельной в целом, которые учитывали бы оптимальное сочетание работающих котлов при различных температурах наружного воздуха.

УДК 658.511

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

ХАРИТОНОВ В.А., МАКСИМОВ В.А., СЕРДЦЕВ С.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. АХМЕТОВ Т.Р.

В настоящее время значительная доля тепловой энергии в Российской Федерации вырабатывается на водогрейных котельных. Преимущества комбинированной выработки тепловой и электрической энергии очевидны. Но, как правило, крупные ТЭЦ строились в больших городах. В небольших городах, сельской местности тепло производится на котельных

в режиме некомбинированной выработки. Даже в мегаполисах часть тепловой энергии в районах, не входящих в пределы радиуса эффективного теплоснабжения от ТЭЦ, вырабатывается котельными. Так в городе Казань, при наличии трех ТЭЦ, около 50 % годового потребления тепловой энергии, производится в режиме некомбинированной выработки.

Поэтому задача повышения энергетической эффективности работы котельных является актуальной и значимой.

Одним из наиболее значимых методов повышения эффективности теплоснабжения является включение зон действия котельных в зону действия ТЭЦ: переключение потребителей от источников некомбинированной выработки на комбинированные источники. Однако, реализация данного мероприятия возможна при нахождении котельных в зоне эффективного теплоснабжения ТЭЦ. При значительной удаленности потребителей от ТЭЦ затраты на строительство тепловодов не окупаются повышением эффективности теплоснабжения.

Для котельных, не имеющих перспективы переключения на ТЭЦ, необходимо выполнить комплекс мероприятий по повышению эффективности работы по всей цепочке теплоснабжения: источник – тепловые сети – потребитель.

Для повышения эффективности работы источника тепловой энергии необходима его комплексная реконструкция с полной автоматизацией и диспетчеризацией. Установка нового современного оборудования с высоким КПД, использование частотно-регулируемых приводов, современных автоматизированных установок водоподготовки позволит снизить потребление энергоресурсов при производстве тепловой энергии. Автоматизация и диспетчеризация – перевести источник тепла в режим работы без обслуживающего персонала.

Основные методы повышения работы эффективности тепловых сетей: проведение гидравлической наладки, оптимизация диаметров труб и расходов теплоносителя, восстановление тепловой изоляции, использование трубопроводов из полимерных материалов.

УДК 621.4

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА В БЛИЖНЕМ КОСМОСЕ НА ОСНОВЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

ХАФИЗОВ Р.Г., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.

В настоящее время в свете борьбы за преимущество в области космических технологий вопросы исследования ближнего космоса являются достаточно актуальными. Перевод некоторых технологических процессов

и производств в ближний космос открывает новые горизонты построения высокотехнологической продукции, таким образом освоение околоземных пространств представляет перспективный и стратегически важный ресурс, во многом определяющий темпы развития науки.

Выполнение этой задачи невозможно без создания благоприятных условий на космической станции как для самих космонавтов, так и для технологических работ в условиях космоса. Одним из важнейших аспектов, необходимых для достижения желаемого результата, является искусственная гравитация, так как изучение космоса не может быть осуществлено в полной мере без проведения различных экспериментов, для которых необходимы условия, близкие к абсолютному вакууму, но при этом в присутствии имитации ускорения свободного падения. Кроме этого, отсутствие гравитации негативно влияет на организм человека, которое хоть и носит временный характер, но все же является опасным фактором, длительное воздействие которого может привести к необратимым последствиям.

Наиболее очевидным представляется создание искусственной гравитации посредствам центробежного ускорения, для осуществления данного метода предлагается торообразная конструкция станции, размещённая на одной оси с энергетическим блоком, в состав которого входит многоцилиндровый двигатель Стирлинга. Предполагается, что энергия Солнца, подводимая к энергетическому узлу, будет использована для вращения станции.

Функционирование предлагаемой энергетической установки подразумевает нагрев рабочих цилиндров блока двигателей Стирлинга солнечной энергией и отвод тепла через охладитель.

Для космических станций, находящихся в окрестностях планет, имеющих атмосферу, внешним источником нагрева может стать тепловая энергия, выделяющаяся как при столкновении его поверхности с молекулами газа, так и за счет рекомбинации на его поверхности диссоциированных молекул.

Для Земли эта энергия существенна на высотах от 30 до 200 км, а на высотах более 250 км она настолько мала, что практически не влияет на температуру поверхности КА.

Таким образом, разработка модели космической станции с искусственной гравитацией является важным шагом на пути к безопасности здоровья космонавтов, гораздо более детальному и глубокому изучению космоса и наращиванию научного потенциала. Для осуществления данной задачи предлагается энергетическая установка с использованием двигателя Стирлинга, способная обеспечить работу всей системы в заданных условиях

эксплуатации. Одним из аспектов при выборе энергетической установки была экономическая составляющая, поскольку стоимость топлива неумолимо растёт, а при условии того, что топливо необходимо будет доставлять на орбиту специальными грузовыми космическими аппаратами, конечная стоимость топлива становится одной из крупнейших проблем на пути к созданию подобной системы. Результат проведенного анализа возможности применения двигателя Стирлинга в данной энергетической установке в условиях ближнего космоса для выполнения поставленной задачи представляется положительным.

Литература

1. Хафизов, Р. Г. Применение двигателя Стирлинга в ближнем космосе для создания искусственной гравитации и механизм аккумуляции энергии / Р. Г. Хафизов, А. Е. Кондратьев // Материалы XI Международной молодёжной научной конференции по естественным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых». – Йошкар-Ола, 2016. – С. 28.

2. Хафизов, Р. Г. Варианты конструкции двигателя Стирлинга и особенности их применения / Р. Г. Хафизов, А. Е. Кондратьев // Материалы X Международной молодёжной научной конференции по естественным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых». – Йошкар-Ола, 2015. – С. 24.

3. Хафизов, Р. Г. Условия применения двигателя Стирлинга в ближнем космосе / Р. Г. Хафизов, А. Е. Кондратьев // Материалы X Международной молодёжной научной конференции «Тинчуринские Чтения». – Казань, 2015. – С. 36.

4. Хафизов, Р. Г. Применение двигателя Стирлинга в ближнем космосе и механизм аккумуляции энергии вращения / Р. Г. Хафизов, А. Е. Кондратьев // Материалы XI Международной молодёжной научной конференции «Тинчуринские Чтения». – Казань, 2016. – С. 37.

5. Хафизов, Р. Г. Основные принципы построения двигателя Стирлинга / Р. Г. Хафизов, А. Е. Кондратьев // Материалы XVIII Аспирантско–магистерскогого семинара, посвящённого дню энергетика. – Казань, 2014. – С. 32.

6. Хафизов, Р. Г. Применение двигателя Стирлинга в ближнем космосе и механизм аккумуляции энергии вращения / Р. Г. Хафизов, А. Е. Кондратьев // Материалы XIX Аспирантско–магистерскогого семинара, посвящённого дню энергетика. – Казань, 2015. – С. 34.

7. Иванов, Д. А. Оценка влияния параметров теплообменного контура на характеристики двигателя Стирлинга / Д. А. Иванов, Ф. А. Шустров. // Научные исследования и разработки молодых учёных. – 2014. – № 1.

УДК 621.577

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ РАЗЛИЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ХРАМОВА Е.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

На сегодняшний день на промышленных предприятиях имеются значительные объемы сбросной тепловой энергии, поэтому необходимо стремиться к снижению их выхода за счет совершенствования технологии либо за счет повышения эффективности их вторичного использования [1]. В этом состоит основная задача повышения эффективности теплотехнологических схем производств, а также полного использования сбросной энергии.

Источниками сбросной теплоты на предприятиях химической отрасли промышленности являются технологические аппараты, установки, которые используют в качестве первичных энергоносителей промышленный пар, горячую воду, нагретый воздух, продукты сгорания различных видов топлива.

Важным показателем, характеризующим эффективность систем теплоснабжения, является потенциал используемой энергии. В химической отрасли промышленности сбросная тепловая энергия классифицируется по температуре основных производственных процессов: высокотемпературные (высокопотенциальные) с температурой выше 500 °С и низкотемпературные (низкопотенциальные) при температуре ниже 150 °С для жидкостей и 300 °С для газов [2].

К перспективным установкам использования низкопотенциальной сбросной энергии химических производств относятся ТНУ (теплонасосные установки) [3]. Использование ТНУ актуально в городах, где остро стоит проблема утилизации тепловых отходов, например, сточных вод. Обычно сточные воды имеют кроме растворенных, взвешенных примесей еще и высокую температуру. Перед сливом в промышленную канализацию они должны быть предварительно охлаждены, чтобы не оказать вредного воздействия на последующую систему биологической очистки. Тепловой насос не только охлаждает эти воды, но и нагревает теплоноситель для системы теплоснабжения.

Использование газотурбинных установок для выработки электроэнергии дает возможность применять тепловые насосы как для охлаждения уходящих продуктов сгорания (при этом часть теплоты целесообразно использовать в котлах-утилизаторах, которые являются источниками высокопотенциального тепла), так и для понижения температуры теплоносителя, что позволяет обеспечить промежуточное охлаждение ступеней компрессора. А это в свою очередь увеличивает КПД газотур-бинной установки, что приводит к уменьшению выбросов в атмосферу окислов азота.

Таким образом можно сделать вывод, что применение разнообразного утилизационного оборудования с включением ТНУ в России будет расширяться для использования сбросной энергии, что позволяет снижать затраты топлива и при этом сокращать выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Литература

1. Плотникова, Л. В. Повышение энергетической эффективности производства этилена на основе методов энерготехнологического комбинирования / Л. В. Плотникова // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 1. – С. 87–88.

2. Финаева, Н. В. Изучение процесса утилизации низкотемпературных вторичных энергетических ресурсов / Н. В. Финаева, В. В. Филиппов // Альманах современной науки и образования. – 2008. – № 12. – С. 213–215.

3. Захваткин, А. С. Тепловые насосы в системах утилизации вторичных энергетических ресурсов / А. С. Захваткин, А. В. Крайнов // Теплофизические основы энергетических технологий: сб. ст. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2011. – С. 330– 333.

УДК 620.192

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ В ППУ-ИЗОЛЯЦИИ

ЧАНЧИН К.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЗИГАНШИН Ш.Г.

Обнаружение коррозии – одна из важнейших проблем, решение которой позволит обеспечить безаварийную эксплуатацию и увеличить срок службы трубопроводов, снизить стоимость передачи тепловой энергии.

Решить эту проблему может создание системы автоматизированного контроля за состоянием трубопроводов. На данный момент производят монтаж системы дистанционного контроля за протечкой в трубопроводах, которая сигнализирует об утечках теплоносителя. Хоть такая система и помогает оперативно определять место протечки, но этого недостаточно, так как она не позволяет точно определить место протечки [1]. Диагностика может быть основана на различных методах неразрушающего контроля, среди которых выделяются акустические (акустико-эмиссионный и метод свободных колебаний), благодаря ряду особенностей [2].

С помощью описанных выше методов возможно получить частоты собственных колебаний трубопроводов, по которым можно судить об их состоянии, но проблема заключается в обработке большого количества данных и безошибочном определении дефектов трубопроводов [3].

Использование нейронных сетей позволит быстро и эффективно анализировать данные и снизить ошибку при принятии решений.

Нейронная сеть – это система, способная изменять свою структуру под воздействием внешних факторов. Говорят, что искусственную сеть обучают по входным данным. В ходе обучения внутренние параметры искусственной нейронной сети подстраиваются под входные данные, что позволяет выделять закономерности в данных или решать задачи прогнозирования, классификации и кластеризации. При использовании искусственной нейронной сети для анализа данных исследователь решает несколько задач: какой алгоритм обучения использовать, какова конфигурация сети. Искомые внутренние параметры находятся автоматически, в соответствии с выбранным алгоритмом и конфигурацией [4].

Для создания аппарата, который может быстро, эффективно производить анализ данных и выдавать безошибочные результаты, была использована нейронная сеть обратного распространения.

С целью проверки нейронной сети, в программной среде ANSYS были смоделированы трубопроводы в ППУ-изоляции. Для этих трубопроводов был проведен модальный анализ и получены частоты свободных колебаний. На основании этих частот в разработанной нейронной сети обратного распространения была обработана и подтверждена информация о дефектности или бездефектности смоделированных трубопроводов.

Для снижения ошибки анализа нейронная сеть в дальнейшем будет применятся не только на графических моделях трубопроводов, но и на реальных трубопроводах в ППУ-изоляции.

Литература

1. Абакумов, И. Е. ППУ и ППМ изоляции. Области применения в тепловых сетях / И. Е. Абакумов // Новости теплоснабжения. – 2009. – № 2.

2. Зиганшин, Ш. Г. Виброакустический способ и информационно-измерительная система контроля состояния трубопроводов на основе конечноэлементного анализа и нейросетевого моделирования: дис. … канд. техн. наук / Ш. Г. Зиганшин. – Казань, 2009.

3. Метод свободных колебаний при контроле трубопроводных систем / Ш. Г. Зиганшин [и др.] // В мире неразрушающего контроля. – 2013. – № 3(61). – С. 56–60.

4. Татьянкин, В. М. Алгоритм формирования оптимальной архитектуры многослойной нейронной сети / В. М. Татьянкин //Новое слово в науке: перспективы развития. – 2014. – № 2. – С. 187–188.

УДК 620.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРТ-ОБЪЕКТА «ТЮЛЬПАН» ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

ШАРИФУЛЛИНА А.Р., ИБАДОВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: канд. техн. наук, доц. КОНДРАТЬЕВ А.Е.;
канд. техн. наук, доц. АСКАРОВ Р.Р.

Несмотря на то, что Россия является обладателем одного из самых больших в мире потенциалов топливно-энергетических ресурсов, проблема ресурсосбережения – одна из ключевых для нашей страны. В России система развития «зеленой энергетики» в полном объеме еще не выработана и не получила широкого распространения.

В соответствии с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2035 года», необходимо завоевывать лидирующие позиции в развитии возобновляемых источников энергии и внедрять в промышленных масштабах экологически чистые технологии производства энергии. Основными элементами этого направления должны стать новая система нормирования допустимого воздействия на окружающую среду и расширение использования альтернативных возобновляемых источников энергии. [1]

Исходя из функций Центра компетенций и технологий в области энергосбережения, одна из которых заключается в демонстрации решений

и передовых технических новинок в области энергоэффективности и энергосбержения для промышленных предприятий и населения, мы считаем целесообразным реализацию проекта: создание арт-объекта «Тюльпан» (рисунок).



Арт-объект «Тюльпан»

Необходимость данного проекта обусловлена тем, что предлагаемая установка предназначена для зарядки сотовых телефонов, планшетов и мобильных аккумуляторов на основе источников альтернативной энергии, а также для популяризации и демонстрации экологически чистых способов выработки энергии. Помимо этого комплекс позволит подключиться к Wi-Fi, получить справочную информацию о городе с экрана монитора с touch-screen рамкой. Также для обогрева в холодный период года предполагается установка тепловентилятора. В цепи обогрева находится реле. При включении подается питание на его обмотку. От контактов реле питание поступает к электроподогреву и возвращается обратно на обмотку. Подаваемый от вентилятора теплый воздух используется для сушки и обогрева. [2]

Источником энергии для гаджетов и Wi-Fi сети служат ветрогенератор и солнечные панели. На рисунке представлен план установки. Ветряной электрогенератор с вертикально расположенным ротором стилизован под бутон цветка, а солнечные панели стилизованы под лепестки цветка.

На стебле цветка расположены USB-входы для заряжаемых устройств. Возможно вмонтировать панель информации с touchscreen.

Литература

1. Направления перехода к инновационному сАктуальные биохимические вопросы производства теплофизики который и физической гидрогазодинамикиоциально ориентированному типу экономического развития [Электронный ресурс] // Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р (ред. от 10 февраля 2017 г.). – Режим доступа: http://studact.ru. – (Дата обращения 12.01.2018).

2. Караева, Ю. В. Эффективность использования электрического обогрева помещений / Ю. В. Караева // Актуальные биохимические вопросы производства теплофизики и физической гидрогазодинамики: тезисы докл. XII Междунар. конф. – Новосибирск, 2012. – С. 56.

Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 681.5:697.1

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ ЖИЛОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

АМИНОВА М.Р., БОРИСОВА О.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВ В.В.

Централизованные системы пылеудаления стали неотъемлемым атрибутом кинотеатров, гостиниц, салонов красоты и других помещений. Они позволяют бесшумно и незаметно удалить из воздуха практически 100 % пыли и мусора, кроме того, удаляется табачный дым, вирусы и бактерии.

В ходе данной работы была разработана система централизованного пылеудаления для умного дома. Для каждого элемента автоматизации были подобраны свои приборы и средства автоматизации, рассчитана оптимальная АСР [2, 3].

Описание системы централизованного пылеудаления жилого многоквартирного дома:

Централизованная система пылеудаления состоит из нескольких частей. Силовой компрессорный модуль, установленный в специальном техническом помещении, максимально удаленном от жилых комнат [1]. При помощи ПВХ трубопроводов силовой модуль соединяется с пневморозетками – входными отверстиями в убираемое помещение. Розетки могут располагаться на стенах и полах. К каждой пневморозетке подходит двужильный провод, замыкая контакты которого, всасывающий агрегат запускается. Для начала работы системы достаточно подключить шланги от силового агрегата к розеткам. Потоком воздуха из помещения удаляется вся пыль.

Централизованная система пылеудаления очень надежна, поливинилхлоридные трубы могут быть проложены даже внутри бетонной стяжки. Обслуживание и эксплуатация централизованной системы удаления очень просты, система требует минимального количества электроэнергии, обладает очень высоким КПД. По сравнению с другими способами уборки

помещений централизованная система пылеудаления обладает рядом преимуществ. Она является единственным способом, позволяющим значительно уменьшить количество вредных веществ в воздухе [4]. Обычные пылесосы эту функцию не выполняют, так как частицы небольших размеров возвращаются в помещение вместе с потоком отработанного воздуха. Одновременно вырастает и их концентрация. Кроме того, использование централизованной системы пылеудаления существенно экономит время и средства на уборку.

Литература

1. Ватин, Н. И. Очистка воздуха при помощи аппаратов типа циклон: учебное пособие / Н. И. Ватин, К. И. Стрелец. – СПб.: Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т, 2003. – 65 с.

2. Гильфанов, К. Х. Проектирование автоматизированных систем: учебное пособие / К. Х. Гильфанов, В. А. Арапов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. – 292 с.

3. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А. С. Клюев [и др.]; под ред. А. С. Клюева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

4. Штокман, Е. А. Очистка воздуха / Е. А. Штокман. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 320 с.

УДК 621.928.42

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕПАРАТОРА НА РАЗДЕЛЕНИЕ ЭМУЛЬСИИ

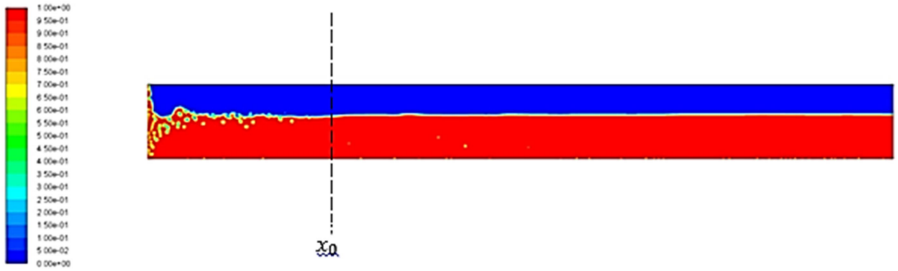
АХМАДУЛЛИН А.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Одним из перспективных методов обеспечения экологической безопасности в химической и энергетической отраслях является использование сепараторов для разделения эмульсий. В настоящее время большое количество сепарационных устройств закупается за рубежом. В связи с импортозамещающей политикой модернизация существующих сепараторов и разработка собственных сепарационных устройств является актуальной задачей.

В данной работе исследовалось влияние внутренних конструктивных элементов сепаратора на разделение эмульсии. Для определения влияния расположения и вида конструктивных элементов на эффективность разделения эмульсии был проведен ряд вычислительных экспериментов. Расчет эмульсии в трубе проводился в программном пакете ANSYS Fluent на двумерной геометрии. В ходе численного расчета задавались некоторые постоянные параметры: концентрация нефтепродуктов принималась равной 50 %, плотность воды ρ_w = 998,2 кг/м^3, плотность воздуха ρ_0 = 960 кг/м^3. Исследовался нестационарный процесс с шагом по времени 0,01. Расчетное время соответствовало реальному времени – 60 с. Указанного времени было достаточно для достижения потоком выходной границы и устойчивого течения.

Было определено расстояние x_0, на котором при данной скорости происходит разделение потока. Следовательно, перегородки для интенсификации разделения эмульсии в результате успокоения потока, необходимо устанавливать на промежутке от 0 до 20 см (рисунок).



Определение расстояния x_0 в трубе

Численный расчет показал, что расстояние x_0=15 см позволяет достичь разницы между плотностями воды и нефтепродуктов 3,8 %.

УДК 681.5.037.24

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО АЛГЕБРАИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ ШУР-КОНА

БАЯНОВ А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. САФИН М.А.

Целью данной работы являлась разработка программного обеспечения для определения устойчивости замкнутой системы автоматического управления по алгебраическому критерию Шур-Кона для упрощения расчетов и выдачи мгновенного результата.

Алгебраический критерий устойчивости Шур-Кона позволяет анализировать устойчивость замкнутых систем автоматического управления по их характеристическому уравнению, записанному в z-изображениях:

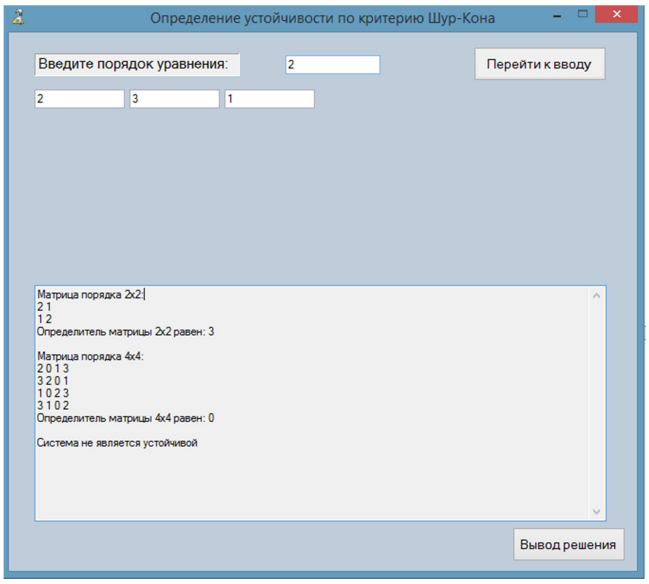
$$b_k z^k + b_{k-1} z^{k-1} + \ldots + b_1 z + b_0 = 0.$$

Для оценки устойчивости системы нужно установить знак у k определителей, размерностью $2k \times 2k$, которые заполняются коэффициентами характеристического уравнения по заданным правилам. Алгоритм составления матриц успешно реализован в программе, что легко проверяется визуально при выводе.

Главным условием устойчивости системы по данному критерию является чередование знаков определителей, которое должно начинаться с отрицательного. При несоблюдении данного условия сразу можно сделать вывод о том, что система не является устойчивой. Для упрощения работы с конечными определителями в программе также был реализован учет чередования знаков.

Составление этой матрицы и получение правильного определителя – очень трудоемкий процесс и занимает очень много времени, особенно если порядок характеристического уравнения системы очень большой.

Для упрощения расчетов было решено создать соответствующее программное обеспечение, которое значительно ускоряет работу по определению устойчивости замкнутых систем с помощью данного критерия. Алгоритм вычисления был реализован в среде программирования Visual Studio 2015 с визуальным оформлением в Windows Forms на языке C#. Вид рабочего окна программы представлен на рисунке.



Окно приложения

Программа представляет собой оконное приложение с интуитивно-понятным интерфейсом. Для начала работы нужно запустить его, как и любое другое приложение. Далее требуется выбрать порядок характеристического уравнения и нажать кнопку для начала ввода. Следующим шагом является заполнение ячеек с коэффициентами. Затем нужно нажать кнопку «Вывод решения» и пользователь получит подробный результат, который легко можно скопировать в различные текстовые редакторы и продолжить дальнейшую обработку.

Данный критерий применяется в различных отраслях науки для определения устойчивости замкнутых дискретных систем автоматического управления, которые записаны в виде характеристического уравнения. Я считаю, что разработанное приложение найдет применение в сферах жизни человека, связанных с экономикой, автоматизацией, машиностроением и др.

Литература

1. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: учебник для вузов / Н. Н. Иващенко. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.

УДК 621.4:532.5

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ ПРИВОДОМ НАСОСА

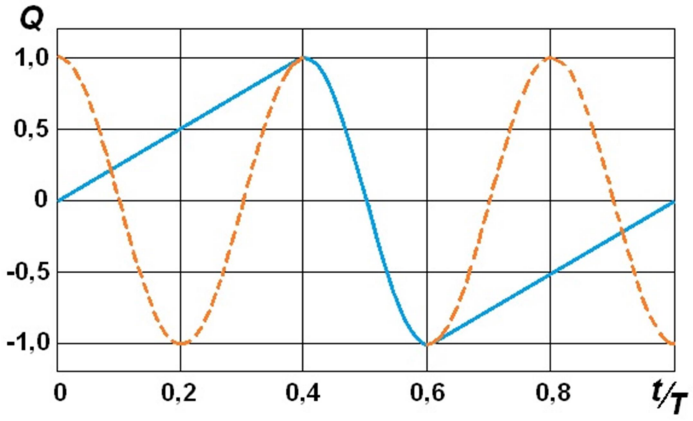
БАЯНОВ А.И., МУХАМЕДЗЯНОВ Ш.Т., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.;
канд. тех. наук, доц. БОГДАНОВА Н.В.

Сокращение потребления электроэнергии в современном мире, даже если выигрыш составляет всего несколько процентов, играет огромную роль. Решение вопросов энергоэффективности не теряет своей актуальности и является одной из важнейших тем научных исследований.

Целью данной работы является разработка алгоритма управления частотным приводом насоса для создания пульсирующего течения и повышения эффективности при протекании жидкости по трубопроводу.

Анализ пульсирующих потоков [2] показывает, что нестационарность течения в трубопроводе приводит к несимметричному, по сравнению со стационарным потоком, изменению поверхностного трения. Ускорение увеличивает потери давления на трение, а замедление уменьшает. При гармонических колебаниях фазы замедления и ускорения потока одинаковы во времени, идея энергосбережения заключается в преобладании фазы замедления в периоде частотного управления насосом. Фаза ускорения предлагаемого алгоритма основана на линейной функции, фаза замедления – на гармонической (синусоидальной). Точки сопряжения функций определены из условия равенства первых производных. На рисунке представлена функция, где фаза замедления в четыре раза меньше фазы ускорения.



Зависимость безразмерного расхода жидкости в трубопроводе в периоде времени

Для сокращения потерь энергии на преодоление сил трения при течении по трубопроводам и экономии электрической энергии в данной работе предложен алгоритм управления частотным приводом насоса, при котором расход жидкости меняется согласно графику, представленному на рисунке (при пропорциональном законе производительности от скорости вращения рабочего колеса). Алгоритм позволяет получать различные гидродинамические режимы в трубопроводе. Можно изучать как интенсификацию эффектов переноса импульса и энергии, так и их замедления. Алгоритм пульсирующего управления частотным приводом насоса позволяет в перспективе сократить потребление электроэнергии.

Для получения наилучшего результата в процессе испытаний нужно определить оптимальную частоту на пульсациях расхода, опираясь на потери давления. Данные таблицы получены из расчетов в статье по энергозатратам при транспортировке жидкости [1].

Потери статического давления при низкочастотных пульсациях расхода

dQ/dt, м^3/с	$3\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$
f, Гц	0,1 0,3 0,5 1,0	0,1 0,3 0,5 1,0	0,1 0,3 0,5 1,0
P_C, МПа	0,037 0,34 0,77 4,8	0,035 0,33 0,96 3,2	0,034 0,31 0,89 3,82

Из этих данных можно сделать вывод, что потери давления минимальны при минимальной амплитуде и частоте расхода. Результаты таблицы были использованы для подбора оптимальных величин средней скорости потока.

Литература

1. Богданова, Н. В. Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса: электрон. сборник науч. трудов / Н. В. Богданова, А. В. Самойлов, Е. А. Ковалевский. – 2013. – Вып. 8. – Ч. 3. – С. 211.

2. Самойлов, А. В. Уменьшение энергозатрат при прокачке рабочих агентов и транспортировании жидкостей в каналах круглого сечения / А. В. Самойлов, Н. В. Богданова, И. Р. Мухаметсабиров. – С. 5.

УДК 681.5

ВИБРОМОНИТОРИНГ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

ВАЛЕЕВ З.Н., ШУМАЕВ Т.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

На многих отечественных предприятиях в качестве контроля оборудования применяется система планово-предупредительного ремонта (ППР), при которой обслуживание оборудования происходит по истечению определенного количества времени, а не по фактическому состоянию агрегата. При проведении планово-предупредительного ремонта происходит остановка оборудования, его диагностика и ремонт, который может оказаться необоснованным, если в механизм будут внесены дополнительные неисправности.

Насосы – это одни из самых распространенных аппаратов на предприятиях. Их бесперебойная работа влияет на безопасность и экономичность производства. Нельзя, чтобы насос просто так отключился, так как это приведет к аварийной ситуации. Поэтому для успешной эксплуатации насоса важно знать его слабые места для того, чтобы вовремя диагностировать неполадки. Рационально использовать вибродиагностику для мониторинга текущей ситуации роторного оборудования.

Автоматизация – одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций. Автоматизация с использованием вибродиагностики позволяет повысить производительность труда, улучшить качество продукции, оптимизировать процессы управления, отстранить человека от производств, опасных для здоровья. Автоматизация, за исключением простейших случаев, требует комплексного, системного подхода к решению задачи.

Вибродиагностика – это отрасль науки, основанная на предположении, что любой объект (технический, биологический и т.д.) может быть представлен в виде колебательной системы, содержащей информацию о техническом состоянии оборудования, поломках и качестве объекта. Основную задачу диагностики составляют способ извлечения и распознавания информации. Вибродиагностика направлена на нахождение дефектов роторного оборудования.

Значительное уменьшение объема работ по техническому обслуживанию не обязательно означает увольнение персонала по техническому обслуживанию. Его можно обязать заниматься подготовкой и проведением измерений, а также более тщательно проводить работы по осмотру и проверке каждой машины, снятой с эксплуатации для проведения ремонта. Благодаря этому повысится надежность и безопасность машин. Проведение срочных работ, которые раньше могли быть выполнены только наспех, должны стать достоянием прошлого.

УДК621.398

ПРИМЕНЕНИЕ IOT-ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

ГАЛЕЕВ К.И., ГАЛЕЕВА А.Э., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БОРИСОВА О.В.

Как устроены современные системы промышленной автоматизации? Их можно разделить на несколько уровней. Например, на «полевом» уровне, в цехе предприятия, располагаются различные сенсоры, датчики и приводы. Далее следует уровень контроля — например, программируемые логические контроллеры (ПЛК; англ. PLC), которые, собственно, собирают информацию с датчиков и управляют приводами. Уровень управления процессами формируют системы класса SCADA (Supervisory

Control And Data Acquisition) и MES (Manufacturing Execution System). Наконец, на вершине пирамиды – системы планирования ресурсов предприятия (EnterpriseResourcePlanning, ERP), которые, как правило, работают на серверах, расположенных в корпоративных центрах обработки данных (ЦОДы). Основными проблемами существующей концепции АСУ ТП является:

– ограниченность количества устройств «полевого» уровня;

– сложность процесса управления;

– уязвимость сети предприятия.

Наиболее перспективным и энергоэффективным решением может стать реализация структуры АСУ ТП на базе IoT-технологий. Что изменится в этой структуре? Нижний уровень (с датчиками, приводами и прочими исполнительными механизмами) сохранится, однако число устройств на этом уровне экспоненциально вырастет. Кроме того, что даже более важно, устройства этого уровня будут наделяться все большим интеллектом. Они будут способны выполнять многие функции автономно. Большинство же функций, которые в сегодняшних системах реализуются устройствами вышестоящих уровней, будут переноситься на высокопроизводительные серверы, которые будут располагаться в серверных кластерах, ЦОДах или облаках, что позволит отказаться от привычных нам SCADA-систем. Благодаря IoT-технологиям станет возможным реализация АСУ ТП без использования контроллерного оборудования – все вычисления и алгоритмы можно будет осуществлять в облачных платформах.

Таким образом, IoT-технология может последовательно эволюционировать от подключения отдельных объектов с целью их диагностики и контроля, до объединения более сложных технологических объектов управления в сети IoT, а сети IoT – в более сложные сетевые платформы и комплексные производственные решения.

УДК 004.9:378

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ НА ОСНОВЕ ВНУТРЕННЕГО ПОТЕНЦИАЛА УЧАЩЕГОСЯ

ГАТИН И.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БОГДАНОВ А.Н.

С развитием техники после третьей научно-технической революции, а именно после бурного роста вычислительной техники, начался процесс комплексной автоматизации производства. Поэтому в настоящее время растёт потребность по подготовке профессионалов в области автоматизации технологических процессов.

С целью повышения качества обучения студентов в области автоматизации технологических процессов также применяются информационные технологии, внедряются программные средства на базе персональных компьютеров, применяемые для передачи студенту учебного материала и контроля степени его усвоения. В свою очередь такие технологии является неотъемлемой частью всех сфер деятельности человека, и способствуют развитию глобального процесса информатизации. В последние годы в российских производственных компаниях растет запрос на разработку модели профессиональных компетенций в области автоматизации технологического процесса.

Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации. Основными целями автоматизации технологического процесса являются: повышение эффективности и безопасности производственного процесса [1]. Профессиональная компетенция – это совокупность умений, знаний и практических навыков человека, для успешного выполнения должностных обязанностей.

Для формирования профессиональной компетенции создаётся специальный алгоритм раскрытия внутренних талантов и задатков, реализованный в виде электронного приложения. Программа должна выявлять фактический уровень знаний, производить оценку комплектности умений и навыков для нахождения своего профессионального пути. Программа должна стать личным помощником в профессиональном развитии на основе выявленных интересов, талантов и задатков.

В данном электронном приложении было выбрано направление «Управление в технических системах». Управление в технических системах – это направление подготовки специалистов в области разработки систем и средств автоматического и автоматизированного управления техническими объектами. Данные специалисты осуществляют разработку, проектирование, наладку и эксплуатацию средств и систем автоматизации [2]. На основе профессиональных компетенций данного направления можно выделить три специализации: инженер-программист АСУТП, инженер-проектировщик АСУТП, инженер-монтажник АСУТП.

Основные знания и навыки, необходимые инженеру по автоматизированным системам управления производством:

– языки программирования: Delphi (Pascal), Visual Basic, C#, C++, LAD (LD), STL (ST);

– системы управления базами данных: FoxPro, dBaze;

– знания принципов функционирования SCADA, MES;

– технические знания, соответствующие отрасли работы.

Электронное приложение состоит из четырёх программных модулей:

– Анкетирование, в нём происходит регистрация и создание профиля для прохождения тестирования и решения заданий;

– Тестирование по имеющимся теоретическим знаниям, оценка производится по 100-балльной системе;

– Решение заданий на составление и редактирование схем автоматизации (функциональные, электрические, монтажные), с отчётами и выставлением баллов;

– Формирование итогов и рекомендаций.

Программа будет доступна на персональных компьтерах и ноутбуках с установленной операционной системой Windows. Приложение создается на языке программирования C# с использованием интегрированной среды разработки программного обеспечения Visual Studio Community 2015. Данная среда позволяет разработать приложение с графическим интерфейсом, в том числе с поддержкой технологии WindowsForms и управляемом коде для платформы Windows. Также в этом проекте используется база данных, которая представлена в XML-документе.

В заключение необходимо отметить, что в итоге после прохождения всех заданий и упражнений алгоритм электронного приложения позволяет произвести комплексную оценку уровня знаний, умений, навыков. Что позволяет дать рекомендации и отнести обучающихся к одной из трёх веток специализации в области автоматизации технологических процессов.

Литература

1. Автоматизация технологических процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизация_технологических_процессов.

2. Специальность «Управление в технических системах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.spbstu.ru/structure/institut_ computernikh_nauk_i_tekhnologiy/napravleniya-podgotovki-iknt.

УДК 65.011.56

СОЗДАНИЕ УЧЕБНОГО СТЕНДА «АСУ ОТОПИТЕЛЬНОГО КОНТУРА»

ГЕРАСИМОВ Е.И., ХАЗИЕВ Н.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Основная задача АСУ отопительного контура – это расходовать тепло и энергию лишь тогда и там, где в ней есть необходимость. Автоматика обеспечивает регулирование температуры в теплоносителе, которая в свою очередь поступает в систему отопления. Интересно то, что она зависит от температуры наружного воздуха. Благодаря этому без лишнего труда можно обеспечить себе комфорт в здании, будь то ваш частный дом или же офисное здание.

Отдельный плюс – это существенная экономия средств. Ведь в задачи автоматики входит регуляция температуры исходя из температуры на улице, соответственно система существенно экономит ваши средства в случае внезапного потепления на улице.

Проект АСУ водяного отопления в стендовом исполнении. Не требует подключения к водопроводной сети. Контроль и управление системой отопления производится с помощью программируемого логического контролера. Данная установка предназначена для изучения устройства и принципа действия автономной водяной системы отопления, экспериментального исследования процессов в системе отопления и определения характеристик отопительных приборов.

Технические возможности:

– измерение температуры в различных точках системы, необходимых как для работы установки, так и для исследования характеристик отопительных приборов [1, 2];

– измерение расхода теплоносителя в контуре отопительных приборов [1, 2];

– расчет текущей тепловой мощности отопительных приборов [1, 2];

– изучение работы регуляторов температуры различного типа с использованием различных законов регулирования [1, 2].

Состав: теплогенератор с позиционным регулятором температуры, расширительный бак, отопительный прибор, датчики температуры теплоносителя в различных точках системы отопления, циркуляционные насосы

в контуре теплогенератора и контуре отопительных приборов, измеритель расхода теплоносителя в контуре отопительных приборов, запорно-регулирующая арматура для изменения схемы подключения отопительных приборов.

Литература

1. Гильфанов, К. Х. Проектирование автоматизированных систем / К. Х. Гильфанов, В. А. Арапов. – 2006. – 290 с.

2. Клюев, А. А. Проектирование систем автоматизации и технологических процессов / А. С. Клюев, Б. В. Глазов. – 1990. – 498 с.

УДК 621.63

СИМУЛЯЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСА

КРЫЛОВ П.Д., МИХАЙЛОВ А.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Задача снижения энергоемкости производственных установок и технологических комплексов является одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Это обусловлено такими факторами, как ограниченные запасы основных (не возобновляемых) энергетических ресурсов, непрерывный рост сложности и стоимости их добычи, глобальные проблемы экологии.

Основные потери относятся к сфере энергопотребления, в которой следует сконцентрировать основные усилия по энергосбережению. В процессе транспортировки, распределения и потребления электроэнергии имеют место ее непроизводительные потери.

В промышленности основным потребителем электроэнергии является электропривод, характерной особенностью которого является то, что стоимость электроэнергии, расходуемой ежегодно средним двигателем, в пять раз превышает цену самого двигателя.

Применение электроприводов с частотным управлением позволяет решить сложные технологические задачи путем автоматического управления параметров движения (скорость, момент и т.п.) электрических двигателей и механизмов; энерго- и ресурсосбережения, благодаря оптимизации режимов работы оборудования; эффективно использовать приводные электродвигатели за счет оптимизации законов частотного управления и высокого

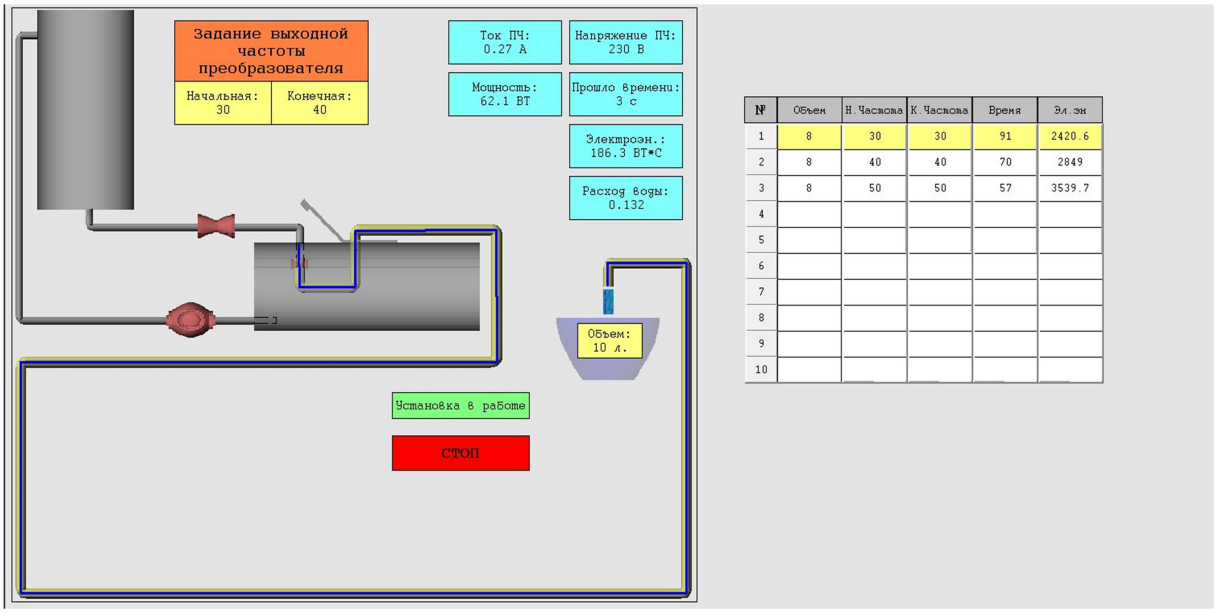
качества выходного напряжения. Правильное использование частотно-регулируемого электропривода обеспечивает увеличение ресурса работы электротехнического и механического оборудования, в том числе электродвигателей, за счет плавности регулирования, отсутствия пусковых токов повышенной кратности и механических ударных нагрузок.

Минимизация тепловых и потерь на перекачку жидкости является одной из основных проблем в топливно-энергетической сфере. В настоящее время существует множество разработок в этом направлении.

Представляемый лабораторный стенд – водогонная установка с принудительной подачей жидкости и опытным участком. В состав стенда входит: насос WILOTop-s25/7 с частотным электроприводом (преобразователь Micromaster 420). Водогонный узел представляет собой полипропиленовый трубопровод с внутренним диаметром 14 мм и длиной 36 м.

Тренажер работы лабораторного стенда реализован с помощью среды разработки CoDeSys.

Управление работой насосной установки (включения и выключения, задания верхней и нижней границ изменения выходной частоты, которая устанавливает режим работы насоса) осуществляется с помощью мнемосхемы, представленной на рисунке.



Мнемосхема управления и мониторинга работы лабораторного стенда

На экране выводится информация в реальном времени о текущих показателях тока; напряжения; мощности; времени, затраченном на перекачку; электроэнергии; расходе воды. Также отображается информация о состоянии работы установки.

Проведенные опыты фиксируются и записываются в таблицу. Визуализация дает наглядное представление о работе лабораторного стенда и позволяет с легкостью обрабатывать полученные результаты.

Литература

1. Изучение электроприводов автоматизированных систем с частотным регулированием: методические указания к лабораторной работе. – Казань: КГЭУ, 2009. – 44 с.

2. Micromaster 420: руководство по эксплуатации SIEMENS 6SE6400-5AA00-0PP0. – 2005. – 198 с.

3. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления: учебное пособие / И. Г. Минаев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь, АГРУС, 2010. – 128 с.

4. Минаев, И. Г. Программируемые логические контроллеры: практическое руководство для начинающего инженера / И. Г. Минаев, В. В. Самойленко. – Ставрополь, АГРУС, 2009. – 100 с.

УДК 53.088

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

КУЗЬМИН Е.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. доц. ТЕТЕРЕВКОВ И.В.

Одной из наиболее важных функций, реализуемых с помощью современных микропроцессорных систем управления, является функция измерения значений параметров, характеризующих как ход технологического процесса, так и его эффективность. При этом на первый план выходит проблема определения точности полученных данных. Наибольшие проблемы создает наличие случайной составляющей погрешности, при оценке которой обычно применяют вероятностный подход. Его суть состоит в построении доверительного интервала $\left(\overline{x}-k\cdot\sigma_x;\overline{x}+k\cdot\sigma_x\right)$, где $\overline{x}$ – систематическая составляющая погрешности, k – квантильный множитель, σ_x – среднеквадратичное отклонение случайной погрешности.

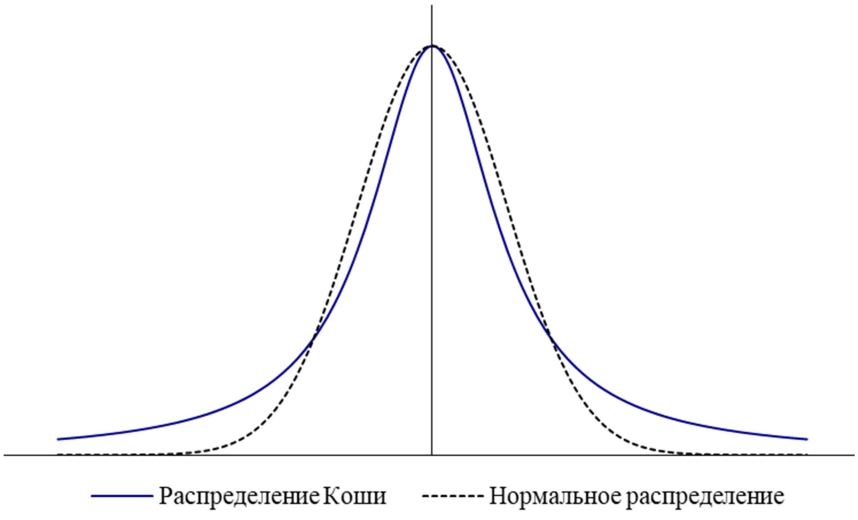
Применение доверительного интервала как способа оценки точности требует выполнения двух условий. Во-первых, значение квантильного множителя зависит не только от доверительной вероятности, но и от вида закона распределения погрешности, следовательно, этот закон должен быть известен. Во-вторых, предполагается, что получение оценок математического ожидания и СКО технически возможно.

Заметим, что наибольший интерес представляет случай, когда требуется определить погрешность для величины, не измеряемой напрямую, а вычисляемой в ходе обработки информации (например, при расчете значения некоторого технико-экономического показателя). В наилучшем случае мы будем иметь полное представление о точности измерения исходных данных (включая и законы их распределения). Но алгоритмы обработки содержат в себе широкий набор арифметических действий, при выполнении которых происходит деформация закона распределения исходных величин [1]. Например, распределение частного двух нормально распределенных независимых центрированных величин с СКО σ_x и σ_y соответственно приводит к закону распределения Коши с функцией плотности распределения вероятностей:

$$f(z) = \frac{1}{c\pi\left[1+\left(\frac{z}{c}\right)^2\right]},$$

где $z = \frac{x}{y},\ c = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}.$

Кривая этого распределения показана на рисунке и на первый взгляд мало отличается от обычного нормального распределения.



Кривые плотности распределения

Основной проблемой при работе с подобным законом является отсутствие у него математического ожидания и дисперсии (значит, и СКО), так как интегралы, определяющие соответствующие моменты распределения, расходятся. На практике в качестве оценки центра этого распределения необходимо использовать медиану. А вот попытка найти дисперсию будет

приводить к тому, что при увеличении объема выборки дисперсия будет неограниченно возрастать. Таким образом, построение доверительного интервала в данном случае становится принципиально невозможным, хотя он вполне может быть выделен визуально (по кривой распределения).

Решение проблемы можно получить с помощью применения информационного подхода к оценке точности, основанного на положениях, разработанных К. Шенноном. В соответствии с ними дезинформационное действие помехи определяется ее энтропией (воспринимаемой как мерой неопределенности)

$$H(X) = -\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \ln f(x)\, dx.$$

Тогда количество информации I может быть найдено как разность энтропий:

$$I = H(X) - H(X \mid X_{\text{п}}),$$

где $H(X)$ – энтропия измеряемой величины до ее измерения, а $H(X \mid X_{\text{п}})$ – энтропия действительного значения измеряемой величины после измерения, то есть энтропия погрешности измерений.

Как же связать значения энтропии и погрешности? Рассмотрим простейший случай, когда для измерения величины x используется прибор с диапазоном шкалы $[X_1; X_2]$ и x внутри этого интервала распределена равномерно с функцией плотности

$$f(x) = \begin{cases} 1/\left(X_2 - X_1\right) \text{ при } X_1 \le x \le X_2; \\ 0 \text{ при } x < X_1 \text{ и } x < X_2. \end{cases}$$

Тогда энтропия до измерения равна $H(X) = \ln\left(X_2 - X_1\right)$. После проведения измерения получен отсчет значения $X_{\text{п}}$. Пусть погрешность прибора $\pm\Delta$ также распределена равномерно: $f(x) = 1/(2\Delta)$. В этом случае действительное значение измеряемой величины будет находиться где-то в пределах интервала неопределенности шириной $d = 2\Delta$. Тогда

$$H(X \mid X_n) = -\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \ln f(x)\, dx = -\int_{X_n - \Delta}^{X_n + \Delta} \frac{1}{2\Delta} \cdot \ln \frac{1}{2\Delta}\, dx = \ln\left(2\Delta\right) = \ln\left(2\Delta_{\text{э}}\right).$$

Величину $d = 2\Delta_{\text{э}}$ принято называть энтропийным интервалом неопределенности результата измерения, а величину $\Delta_{\text{э}}$ – энтропийным значением погрешности (по сути, $\Delta_{\text{э}}$ является аналогом ширины доверительного

интервала при использовании вероятностного подхода). Отметим, что соотношение $H\left(X\middle|X_{\text{п}}\right)=\ln\left(2\Delta_{\text{э}}\right)$ является верным не только для рассмотренного случая равномерного распределения – оно справедливо для любых видов функции плотности f(x). Например, для распределения Коши имеем:

$$H(X\,|\,X_{\text{п}})=\ln\left(4\pi c\right);\quad d=4\pi c;\quad \Delta_{\text{э}}=2\pi c.$$

Таким образом, применение информационного подхода и переход от вероятностных к энтропийным оценкам погрешности позволяет уйти от ограничений, связанных с невозможностью оценки математического ожидания и дисперсии целого класса практически значимых погрешностей измерения или вычисления значений параметров. К тому же, в отличие от оценки точности с помощью доверительного интервала, энтропийная погрешность не зависит от выбора величины доверительной вероятности.

Литература

1. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.

УДК 621.671

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ

ЛУЗАНОВ О.И., МАЯМСИН В.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ШАРИФУЛЛИН В.Н.

Работа насосных станций в различных отраслях промышленности требует значительных затрат электроэнергии. Например, мощность насосной станции теплосети Самарской ТЭЦ из 30 насосов составляет около 18 МВт, при этом потери энергии на дросселирующих устройствах составляют 7,34 МВт [1]. Поэтому задача разработки системы оптимального управления работой насосной станции, снижающих эти потери, имеет большое экономическое значение. В нашей работе разрабатывается компонент программного обеспечения такой АСУТП на примере системы параллельных насосов теплосети. Цель управления – минимизация затрат электроэнергии на функционирование насосной станции.

Режим потребления тепла является переменным с колебаниями в течении суток, недели, месяца и сезонов. Система регулирования давления в тепловые системы осуществляет изменения производительности насосов

либо методом дросселирования, либо с помощью частотного регулятора, либо путем включения/отключения резервного насоса. Традиционный метод поочередного управления производительностью насосов без учета их характеристик приводит к значительным колебаниям КПД насосной станции [1]. В данной работе решались задачи разработки алгоритмов и программы управления производительностью насосной станции при поддержании ее КПД на максимальном уровне. Разработанные алгоритмы основываются на учете напорных и энергетических характеристик насосов [2].

Алгоритм работы программы заключается в начальной проверке на возможность отключения насоса, затем выполняется оптимизация системы насосов при этом алгоритм ориентируется на максимальный показатель КПД системы насосов. При оптимизации допускается возможность двух методов снижения подачи: с отдельного насоса, с нескольких насосов. Также в алгоритме заложена возможность добавления в систему резервного насоса с нужными характеристиками.

После оптимизации по подаче жидкости в системе насосов происходит уточнение прямых и косвенных измерений материальных потоков. Результаты как прямых, так и косвенных измерений, осуществляемых поверенными приборами, всегда содержат ошибку измерения, включающую в себя ошибки датчиков, каналов измерений и регистрирующих приборов.

Только погрешности датчиков составляют в среднем 1-2 % [3]. Такая точность приборов, даже при наличии современных информационно-вычислительных систем, недостаточна для надежного расчета технико-экономических показателей (ТЭП) энергетического оборудования и тем более для автоматической оптимизации процесса, например, в задачах выбора состава работающего оборудования или распределения нагрузки параллельных аппаратов. Например, для условий Томской ТЭЦ даже сравнительно небольшая ошибка в 1 % для прибора технического учета расхода пара давлением 0,8–1,3 МПа равносильна перерасходу топлива на 280 тонн в месяц [3].

Для принятия обоснованных решений и оптимизации режимов необходима более достоверная информация, поэтому возникает проблема уточнения результатов измерений. Суть рассматриваемой методики уточнения заключается в согласовании результатов измерений между собой путем сведения балансовых или других уравнений, описывающих рассматриваемую систему. Критерием истинности значений параметров является

минимум невязки балансовых уравнений в узлах технологической системы. Таким образом, исходная задача сводится к задаче многомерной оптимизации. Наиболее обоснованным критерием согласования невязок в системе, на наш взгляд, является минимаксный критерий Чебышева.

Алгоритм минимизации функций невязок представлял собой сложную итерационную процедуру. Программа минимизации функций невязок по методу минимакса позволяет уточнять до 25 расходов материальных потоков технологической системы. Результаты расчета показали, что ошибки измерений составляют до 2-3 % от их номинала.

Литература

1. Бранфилева, А. Н. Повышение эффективности работы теплосетей ТЭЦ / А. Н. Бранфилева, Е. В. Стефанюк. – СГТУ, 2015. – 6 с.

2. Быстрицкий, Г. Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий / Г. Ф. Быстрицкий. – 2003. – 301 с.

3. Демьянов, В. Ф. Введение в минимакс / В. Ф. Демьянов, В. Н. Малоземов. – 1972. – 368 с.

4. Обновленский, П. А. Основы автоматизации химических производств / П. А. Обновленский, А. Л. Гуревич. – 1975. – 527 с.

УДК 681.5:331.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗРАБОТИЦЫ

ЛЬВОВА О.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БОГДАНОВА Н.В.

Автоматизация – одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы для того, чтобы освободить человека от участия в технологических и информационных процессах, либо существенно уменьшить степень участия или трудоёмкости выполняемых операций.

Насколько может повысить внедрение автоматизации количество безработных? И может ли вообще? В начале XIX века было высказано мнение Дэвидом Рикардо о том, что машины полностью заменят людской труд. Оно было поддержано Карлом Марксом. Но вскоре появились новые рабочие места, обладавшие рядом преимуществ: высокая зарплата и облегченные рабочие условия, охватывающие немалое количество людей, и страх машинного труда прошел.

В последнее время автоматизация производства распространилась даже в тех отраслях, где очень дешевая рабочая сила. Тем, кто боится сокращения своего рабочего места, можно посоветовать обучаться для лучшей работы.

Однако неверно утверждать, что именно автоматизация вызвала рост безработицы. Мартин Форд (разработчик компьютерных программ) предсказывает к концу века безработицу на уровне 75 %. «Большинство людей на рабочем месте выполняют стандартные операции, – говорит Форд. – Экономика всегда нуждалась в рутинной работе. Скоро эта работа будет выполняться роботами». Но на сколько верно это утверждение? Предсказания «трудового» апокалипсиса с массовой потерей работы из-за распространения новых технологий не имеют оснований, в новейшей истории они делались много раз и никогда не сбывались, утверждает ученый в исследовании.

Исследователи Дарон Аджемоглу и Паскаль Рестрепо подсчитали, что установка одного промышленного робота заменяет от трех до шести работников, то есть одна дополнительная машина на тысячу работников снижает уровень занятости на 0,18–0,34 %.

Мало или много? Учитывая медленный рост ВВП за последнее время, этот показатель едва ощутим. Анализ на уровне фирм, отраслей и национальных экономик также не подтверждают убийственную силу новых технологий для занятости. Он, наоборот, влияет положительно: чем выше патентная активность компаний, тем больше новых рабочих мест они создают; чем быстрее растет производительность, тем активнее расширяется на них занятость.

В 2013 году британские экономисты Карл Фрей и Михаэль Осборн представили шокирующий прогноз для мировой экономики. По их оценкам, через 10–20 лет исчезнут 47 % рабочих мест в США, 35 % – во Франции, 59 % – в Германии, 45–60 % – в целом для государств Евросоюза.

Из 37 профессий, теоретически обреченных на скорую смерть (бухгалтеры, аудиторы, банковские служащие по выдаче кредитов, курьеры, посыльные и др.), за годы, прошедшие после прогноза Фрея и Осборна, не была автоматизирована ни одна.

В прогнозе звучало: появление банкоматов уничтожит профессию банковских кассиров; оснащение касс считывающими устройствами ликвидирует профессию кассиров в магазинах; исчезнет (будет заменен машинами) вспомогательный юридический персонал.

В реальности: на фоне роста числа банкоматов в США (с 1990 г. до настоящего времени со 100 тыс. до 425 тыс.) количество кассиров в банках выросло с 400 тыс. до 450 тысяч; кассиров в США за тот же период стало больше на 1,2 млн (с 2 млн до 3,2 млн); численность вспомогательного юридического персонала в США увеличилась более чем в три раза – с 85 тыс. до 280 тысяч.

Ученые Мелани Арнтц с соавторами озвучили главный недостаток расчетов по Фрею и Осборну. Предложенная британцами методология не учитывает того, что автоматизируются, как правило, не профессии целиком, а отдельные функции, выполняемые работниками в рамках той или иной профессии.

Поэтому профессии чаще всего не умирают, а лишь обновляются. При таком подходе доля рабочих мест, которые через 20 лет могут быть заменены машинным трудом в США, сокращается почти в шесть раз – с 47 до 9 %. Но даже эти свои данные Арнтц с соавторами считают сильно завышенными.

Обновление профессий, но не их отмирание, говорит не в пользу радикальных прогнозов. Кроме того, всплеск технологической безработицы маловероятен еще по ряду причин:

1) ее «предсказатели» делят всех занятых только на две категории: высоко- и низкоквалифицированные.

2) скорость распространения новых технологий сдерживается внешними препятствиями (правовыми, социальными, этическими).

3) замедление технологического прогресса.

Предложение труда – это количество часов, которое население желает посвятить работе. Оно оказывает большое влияние на безработицу. Благодаря интернету и компьютеру, а именно: социальным сетям и развлечениям в онлайне, человеку есть чем занять свободное время, он не оказывается изолированным от социума как раньше.

Вывод подтверждают результаты исследования в США (Aguiaretal., 2016). За 2000–2015 годы под воздействием ИКТ среди молодых американских мужчин уровень занятости упал с 82 до 72 %:

– доля тех, кто в течение года не трудился ни часа, выросла с 10 до 22 %;

– средняя продолжительность отработанного времени в расчете на одного человека сократилась на 300 часов в год;

– время на учебу увеличилось на 1 час в неделю;

– на досуг – более чем на 4 часа, проводимое за компьютером – на 6,5 часов, в том числе за видеоиграми – на 5 часов.

Таким образом, работать стали меньше – в течение года на 75–150 часов. В той или иной степени, фиксируют исследователи, это характерно для всех демографических групп. Но стоит ли бояться технологической безработицы в ходе роботизации, а не замедления темпов технологического прогресса, поскольку это может стать следствием экономической и социальной стагнаций?

Литература

1. Автоматизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизация.

2. Автоматизация производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Автоматизация_производства &oldid =76943579.

3. Автоматизация производства против человека? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vestifinance.ru/articles/23737.

4. Приведет ли мировой прогресс к массовой безработице? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vestifinance.ru/articles/18066.

5. Роботы взвинтят безработицу в мире до 75% [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vestifinance.ru/articles/22681.

6. Статистика безработицы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vawilon.ru/statistika-bezrabotitsy/.

7. Технологическая безработица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iq.hse.ru/news/211413387.html.

8. Технологическая безработица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki2.org/ru/Технологическая_безработица.

УДК 681.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

МАГАДЕЕВ Р.А., КАЛИМУЛЛИН А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Автоматизация работы климатических установок является одним из главных элементов повышения эффективности использования оборудования и производительности труда при минимальных эксплуатационных затратах. За последние десятилетия производство микроклиматического оборудования увеличилось более чем в 12 раз.

Оптимальная комфортная среда предполагает поддержание индивидуальных параметров климата внутри помещения. Автоматическую систему кондиционирования воздуха можно рассматривать как комплекс инженерных подсистем, обеспечивающий поддержание требуемых параметров внутренней среды вне зависимости от внешних климатических условий с учетом архитектурно-строительных конструкций.

Модернизированием климатического оборудования является агрегатирование. Улучшение технико-экономических характеристик оборудования идет за счет оптимизации рабочих процессов обработки воздуха, интенсификации тепломассообмена, совершенствования технологии производства и использования новых материалов и комплектующих.

Современное климатическое оборудование обязательно включает хладагент. В настоящее время к хладагентам предъявляются жесткие требования по токсичности, пожаробезопасности, взаимодействию с окружающей средой. Существенную роль играет стоимость и возможность применения новых рабочих веществ в существующем оборудовании.

Внимание специалистов возрастает к таким природным хладагентам, как углеводороды, диоксид углерода, вода, воздух. Основной тенденцией климатического оборудования станет переход от синтетических к природным холодильным агентам.

При проектировке оборудования особое внимание уделяется уменьшению необратимых потерь вследствие трения и увеличению ресурса работы механических узлов. Частотное регулирование с использованием мультисистем, в которых отдельные компрессорно-конденсаторные блоки обеспечивают большое количество внутренних блоков, поддерживающих индивидуальные параметры микроклимата, требует совершенствования систем управления оборудованием.

Новизна предлагаемого подхода связана с тем, что выбор конструктивных и режимных параметров регенераторов, их количество и места установки определяется индивидуально для каждого помещения с учетом особенностей процессов тепломассопереноса вентиляционных и конвективных потоков. Прототип строится с учетом всех основных факторов и процессов, влияющих на движение воздуха: планировки помещения, теплофизических характеристик ограждений и источников тепловыделений, параметров естественной вытяжной вентиляции, тепловых и гидродинамических характеристик теплообменного оборудования и внешних климатических условий.

УДК 681.5

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

МАТЮШКИН Д.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. доц. ТЕТЕРЕВКОВ И.В.

Современные системы управления на ТЭС и АЭС относятся к сложным иерархическим системам. Как правило, на нижнем уровне расположены автоматические системы регулирования, предназначенные для стабилизации значений технологических параметров, определяющих работу оборудования (например, АСР температуры перегретого пара, АСР давления пара за котлом и т. п.). На среднем уровне находятся АСУ отдельными агрегатами (например, АСУ котельного агрегата и АСУ турбины), отвечающие за управление объектом в целом и устанавливающие режим его работы. Задачей верхнего уровня является согласованное управление всеми технологическими участками станции.

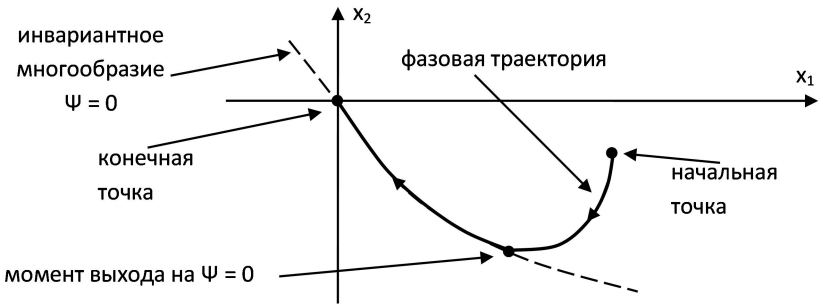
Наличие подобных иерархических отношений должно быть направлено на повышение технико-экономической эффективности: уровень, являющийся верхним, должен каким-то образом обеспечивать единую целенаправленность работы всех подсистем нижнего уровня. Однако на практике это не совсем так. Например, работа отдельных АСР является в достаточной степени автономной, а наличие связей между ними в виде сигналов компенсации внешних возмущений далеко не полностью использует возможности сложных систем к самоорганизации. Максимального же эффекта можно достичь, только обеспечив полностью согласованное управление, то есть уйдя от правила «изменяем положение одного РО для управления только одним технологическим параметром».

Изучение внутренней структуры объекта и его свойств позволяет переводить постановку задачи в область оптимального управления, когда при минимальных управляющих воздействиях параметры объекта способны возвращаться к заданным значениям с минимальными потерями. Покажем это на простейшем примере из механики. Пусть нам нужно перенести некий груз из начальной точки в конечную. Естественно, что для этого нужно затратить определенные усилия, величина которых будет определяться массой груза и дальностью перемещения. Но допустим, что рядом стоит горка и можно затратить энергию на подъем груза на горку, а затем с нужной силой подтолкнуть его вниз. Тогда дальнейшее движение груза

до заданной точки произойдет само собой, то есть уже без какого-либо управляющего воздействия с нашей стороны. Причем вполне возможно, что затраты на управление во втором случае будут меньше, чем в первом.

Приведенный пример в очень упрощенном виде показывает идею синергетики [1] – науки, изучающей вопросы самоорганизации в сложных системах. Сложные открытые системы любой природы (биологические, экономические, социальные, технические) всегда обмениваются с внешней средой (информацией, энергией или веществом) и обладают свойством когерентности поведения, то есть отдельные компоненты системы вовлекаются в процесс самоорганизации.

Синергетический синтез систем управления базируется на основных положениях метода АКОР (аналитическое конструирование оптимальных регуляторов), суть которого состоит в следующем. Фазовые координаты состояния объекта объединяются в некую агрегированную макропеременную Ψ, а управляющее воздействие рассчитывается таким образом, чтобы система как можно быстрее и с минимальными потерями перешла в область ИМ (инвариантного многообразия) Ψ = 0, а затем за счет процессов самоорганизации продолжила движение по линии Ψ = 0 к заданному целевому аттрактору (точка в фазовом пространстве, соответствующая заданным значениям всех координат состояния). Пример подобного процесса в двумерном фазовом пространстве показан на рисунке.



Движение в фазовом пространстве

Синергетическая теория позволяет преобразовать метод АКОР в его модификацию – АКАР (аналитическое конструирование агрегированных регуляторов). При этом формируется расширенная система нелинейных дифференциальных уравнений, в которую в качестве дополнительных переменных включаются задающие, параметрические и внешние возмущающие воздействия. Тогда проблема управления формулируется как задача поиска законов взаимодействия между компонентами этой расширенной системы, причем эти законы должны обеспечить возникновение процессов самоорганизации. Таким образом, сначала происходит «расширение» системы,

в следствие чего внешние силы становятся внутренними. В результате в системе создаются избыточные степени свободы, определяющие ее дополнительные возможности.

На следующем этапе «лишние» степени свободы должны быть преодолены за счет взаимодействия наложенных связей в направлении движения от начального положения системы к промежуточным состояниям на некоторых инвариантных многообразиях последовательно понижающейся размерности. Причем в конечном счете система должна «притянуться» к последнему, целевому ИМ и по нему дойти до заданного состояния.

В качестве примера рассмотрим задачу управления процессами питания и поддержания тепловой мощности парового барабанного котла. В классическом понимании она сводится к раздельному регулированию уровня в барабане H за счет изменения расхода питательной воды $G_{\text{пв}}$ и регулированию давления пара за котлом $p_{\text{п}}$ с помощью изменения величины тепловыделения в топке Q (достигается влиянием на процесс подачи топлива). Процесс синергетического синтеза заключается в следующем. Сначала формируем совокупность макропеременных

$$\Psi_i = f_i\left(\left[H - H^{\text{зад}}\right], \left[G_{\text{п}}\left(p_{\text{б}}, p_{\text{п}}\right) - \varphi\right]\right), \quad i = 1, 2.$$

Здесь $H^{\text{зад}}$ – заданное значение уровня; $p_{\text{б}}$ – давление в барабане котла; $G_{\text{п}}$ – расход пара; φ – «внутреннее» управление, за счет которого и происходит процесс самоорганизации. В результате решения задачи оптимизации получаем выражения для законов управления $G_{\text{пв}}$ и Q как функций от значений фазовых координат объекта и внутреннего управления φ. Эти законы позволяют перевести систему на пересечение ИМ Ψ_1 и Ψ_2, где будет достигнуто равенство $H = H^{\text{зад}}$. В результате произойдет динамическая декомпозиция фазового пространства, размерность задачи снизится и можно ввести третью агрегированную макропеременную $\Psi_3 = p_{\text{п}} - p_{\text{п}}^{\text{зад}}$.

Применение метода АКОР для переменной Ψ_3 позволит получить выражение для внутреннего управления φ, подстановка которого в ранее найденные зависимости для $G_{\text{пв}}$ и Q и даст окончательные формулировки законов управления. Таким образом, система под действием наших управлений сначала выйдет на пересечение ИМ Ψ_1 и Ψ_2, то есть решит задачу стабилизации уровня, а затем будет двигаться к пересечению с ИМ Ψ_3, то есть достигнет заданного значения давления пара на выходе котла.

Литература

1. Колесников, А. А. Синергетическое управление теплоэнергетическими объектами / А. А. Колесников, М. Е. Погорелов. – М.: Испо-Сервис, – 2005.

УДК 536.243

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДЛЯ УСТАНОВКИ С ОГРАНИЧЕННЫМ ОБЪЕМОМ ЖИДКОСТИ

НАБИУЛЛИНА М.Ю., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Метод регулярного режима в разнообразных вариантах предназначен для экспериментального определения теплофизических характеристик веществ.

В классическом варианте метода образец из исследуемого материала охлаждается (или нагревается) в жидкой среде, и по температурным характеристикам процесса, на стадии регулярного режима, определяются теплофизические параметры материала образца. При этом в известных разработках по этому методу температура охлаждающей (нагревающей) среды предполагается постоянной в ходе процесса (с изменением «не более, чем на 0,1 °С» [2, 3]). Для соблюдения этого условия приходится принимать специальные меры, в частности, использовать большие объёмы среды с организацией перемешивания или прокачки, воду со льдом и др.

В данной работе рассматривается вариант метода регулярного режима, позволяющий отказаться от этого требования, используя ограниченный теплоизолированный объём среды, вследствие чего её температура в ходе процесса будет меняться из-за обмена теплотой с образцом.

Использование ограниченного объёма жидкости без термостатирования упрощает моделирование, позволяет использовать более компактную установку, а в определённых условиях повысить точность.

Поэтому важно провести моделирование такого рода процесса и убедиться, что регулярный режим действительно осуществляется и имеет характеристики, пригодные для эффективного проведения экспериментов.

Здесь, в качестве примера, рассматривается процесс охлаждения шара в среде ограниченного объёма:

$$t_w = t_f \left(\alpha \to \infty\right), \text{но } t_f \neq \text{const},$$

$\theta : \theta\,(r,\tau) = t\,(r,\ \tau) - t_\infty$ – избыточная температура, $0 \le r \le r_0$.

Регулярный режим:

$$\theta\,(r,\tau) = DU(r)\mathrm{e}^{-m\tau}, \qquad (1)$$

m = const – темп охлаждения; D – постоянный коэффициент; t_∞ – конечная температура системы.

Построим аналитическое решение на основе классического решения для задачи об охлаждении шара с учётом особенностей процесса.

Общий вид решения на регулярном режиме как в классической постановке

$$\Theta(R, Fo) = D\frac{\sin(\mu R)}{\mu R}e^{-\mu^2 Fo}, \qquad (2)$$

так и в безразмерных переменных: $\Theta = \dfrac{\theta}{\theta_0}$, $Fo = \dfrac{\alpha\tau}{r_0^2}$, $R = \dfrac{r}{r_0}$, $0 \le R \le 1$.

Но из-за другого граничного условия получается иное характеристическое уравнение,

$$\mu\mathrm{ctg}\mu = 1 + 2\mu^2 K_\mathrm{C}, \qquad (3)$$

где $K_\mathrm{C} = C_F / (c_{\text{об}} r_0)$, где $c_{\text{об}}$ – объемная теплоемкость материала шара, Дж/м^3·К; r_0 – радиус шара; $\mu = \mu_1$ – первое собственное число, нетривиальное решение которого должно лежать в интервале $\pi < \mu < 4{,}5$.

Тестирование решения проводилось путём численного моделирования процесса. Был разработан алгоритм построения аналитических решений – классического решения задачи об охлаждении шара в виде ряда и решения для регулярного режима охлаждения в среде с меняющейся температурой. При этом требовалось находить собственные числа, как решения характеристических уравнений. Уравнения приводились к виду, удобному для применения метода деления отрезка пополам.

Для изучения процесса охлаждения шара в среде с меняющейся температурой была создана численная модель на основе метода конечных разностей по явной схеме [1]. Была проведена проверка работоспособности численной модели путём сопоставления результатов расчётов с аналитическим решением для классического случая с постоянной температурой среды, где результаты совпали с точностью выше 0,01 %. Здесь представлены

результаты для довольно небольшой теплоёмкости среды, лишь в 4 раза большей, чем у тела. Под теплоёмкостью среды понимается полная теплоёмкость охлаждающей среды, [Дж/К], которая равна $4\pi r_0^2 C_F$, где $4\pi r_0^2 C_F$ – поверхность шара). Отличие распределения температуры от регулярного режима заметно лишь до момента времени $F_0 = 0{,}1$. А уже при $F_0 = 0{,}15$ температуры соответствуют регулярному режиму настолько, что кривые не различимы. То есть возможность применения регулярного режима фактически не отличается от случая термостатированной среды.

Таким образом, проведённое тестирование на численной модели показало, что такой регулярный режим действительно осуществляется и имеет характеристики, пригодные для эффективного проведения экспериментов. Можно отметить, что обычно общая теплоёмкость среды, видимо, будет заметно больше, чем у образца. Тогда применение методики, основанной на рассматриваемых предложениях, тем более оправданно.

Литература

1. Ковеня, В. М. Методы конечных разностей и конечных объемов для решения задач математической физики: учебное пособие / В. М. Ковеня, Д. В. Чирков. Новосибирск. – 2013. – 87 с.

2. Кондратьев, Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М.: ГИТТЛ, 1954. – 408 с.

3. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении / Г. М. Кондратьев [и др.]. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003. – 560 с.

УДК 62-52:628.33

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА АЭРАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД В САТУРАТОРЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПО МЕТОДУ МАЛЫХ ОТКЛОНЕНИЙ

ПУШИН Д.В., ГУНЬКО М.С., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. канд. техн. наук НАЗАРОВ М.А.

Наметившиеся тенденции к ужесточению для предприятий пищевой промышленности штрафных санкций за несоблюдение установленных норм по качеству и количеству сбрасываемых в водоемы стоков [3], очевидно приведут к возрастанию спроса на обустройство новых и модернизацию существующих сооружений водоочистки, которые на современном этапе

невозможно представить без систем автоматизации. Такая ситуация говорит об актуальности изысканий в части автоматического управления аппаратами очистки сточных вод заводов пищевой индустрии.

Основной функцией любой системы автоматизации является формирование и осуществление комплекса управляющих воздействий на технический объект, которые позволяют достичь заданных технологическими и технико-экономическими требованиями статических и динамических показателей качества работы установки. Сложность настройки систем автоматического управления (САУ) процессами очистки сточных вод обусловлена нестационарностью параметров объектов управления, наличием в них значительного количества нелинейностей, а также в некоторых случаях тем, что они характеризуются большим временем переходных процессов [1, 2, 5, 6].

Важным этапом очистки стоков пищевых производств от взвешенных и эмульгированных частиц [1] является процесс физико-химической обработки в напорном флотаторе [2, 5], который сопряжен с аэрацией сточных вод в специальном напорном баке – сатураторе. Анализ [1] этой технологической фазы показывает, что насыщение жидкости воздухом под давлением в сатураторе поверхностного типа представляет собой нестационарный многомерный объект управления, поведение которого описывается совокупностью математических выражений, включающих нелинейные функции и дифференциальные уравнения.

Исследование устойчивости и робастности, а также аналитический подход к настройке регуляторов САУ процессом аэрации сточных вод в сатураторе поверхностного типа требуют линеаризации математических моделей ее элементов, и, главным образом, объекта управления.

Линеаризация нелинейных уравнений по методу малых отклонений основана на том, что динамические свойства объекта исследуются вблизи некоторой рабочей точки в предположении, что контролируемые параметры незначительно отклоняются от их установившихся значений [4]. Здесь в качестве примера линеаризуем уравнение математического описания [1] аэрации сточных вод, моделирующее массообменные процессы в сатураторе поверхностного типа. В изображениях по Лапласу оно имеет вид:

$$x(p) = \frac{Q_{we}(p)x_e(p) - Q_w(p)x(p) + k(p)S(p)\left[(P_a(p) - P_e)b(p) - x(p)\right]}{V_w(p) \cdot p}, \quad (1)$$

где Q_{we}, Q_w и x_e, x – расходы воды и концентрации газа в воде на входе в сатуратор и выходе из него, соответственно; k – константа скорости растворения воздуха в воде; b – растворимости воздуха при 1 ат; S – площадь поверхности соприкосновения воздуха и воды; P_a, P_e – давление воздуха в напорном баке и давление атмосферы; V_w – объем сатуратора, занимаемого водой; p – оператор Лапласа.

Для аппроксимации уравнения (1) как нелинейной функции нескольких переменных уравнением в приращениях этих параметров, взятых в окрестности рабочей точки, которая соответствует некоторому установившемуся режиму, воспользуемся формулой Тейлора [4]. Тогда после разложения в ряд, ограничившись членами первого порядка малости, выражение, соответствующее (1), запишется как

$$\Delta x(p) = W_{11}(p)\Delta Q_{we}(p) + W_{12}(p)\Delta x_e(p) + W_{13}(p)\Delta Q_w(p) +$$
$$+W_{14}(p)\Delta x(p) + W_{15}(p)\cdot\Delta k(p) + W_{16}(p)\cdot\Delta S(p) +$$
$$+W_{17}(p)\cdot\Delta P_a(p) + W_{18}(p)\cdot\Delta b(p) + W_{19}(p)\cdot\Delta V_w(p),$$

где символ «Δ» обозначает приращение соответствующей переменной; коэффициенты линеаризации, по сути являющиеся передаточными функциями:

$$W_{11}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial Q_{we}(p)}\right]_0 = \frac{x_{e0}}{V_{w0}\cdot p};\ W_{12}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial x_e(p)}\right]_0 = \frac{Q_{we0}}{V_{w0}\cdot p};$$

$$W_{13}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial Q_w(p)}\right]_0 = \frac{-x_0}{V_{w0}\cdot p};\ W_{14}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial x(p)}\right]_0 = \frac{-(Q_{w0}+S_0\cdot k_0)}{V_{w0}\cdot p};$$

$$W_{15}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial k(p)}\right]_0 = \frac{-S_0\cdot[x_0 + b_0\cdot(P_{a0}-P_e)]}{V_{w0}\cdot p};$$

$$W_{16}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial S(p)}\right]_0 = \frac{-k_0\cdot[x_0 + b_0\cdot(P_{a0}-P_e)]}{V_{w0}\cdot p};$$

$$W_{17}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial P_a(p)}\right]_0 = \frac{S_0\cdot k_0\cdot b_0}{V_{w0}\cdot p};\ W_{18}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial b(p)}\right]_0 = \frac{-S_0\cdot k_0\cdot(P_{a0}-P_e)}{V_{w0}\cdot p};$$

$$W_{19}(p) = \left[\frac{\partial x(p)}{\partial V_w(p)}\right]_0 = \frac{Q_{we0}\cdot x_{e0} - Q_{w0}\cdot x_0 + k_0\cdot S_0\cdot[(P_{a0}-P_e)\cdot b_0 - x_0]}{V_{w0}^2\cdot p}.$$

Здесь «0» в индексах указывает на то, что имеется ввиду значение параметра, соответствующее выбранной рабочей точке.

Применение рассмотренного подхода позволяет уже на стадии проектирования осуществить структурную и динамическую оптимизацию контуров управления системы автоматизации процесса насыщения воды воздухом в сатураторе поверхностного типа. В этом случае существенно упрощается решение задач выбора закона регулирования и определения таких динамических параметров настроек контуров, которые дают возможность добиться устойчивости, а при необходимости робастности, САУ, а также переходного процесса с требуемыми показателями качества.

Литература

1. Назаров, М. А. Математическое описание сатуратора поверхностного типа как объекта автоматизации флотационной очистки сточных вод / М. А. Назаров, Д. В. Пушин, М. С. Гунько // International Innovation Research: сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф: в 2 ч. – Пенза, 2017. – Ч. 1. – С. 66–69.

2. Пономарев, В. Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений / В. Г. Пономарев. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 228 с.

3. Производители продуктов заплатят за негативное воздействие на природу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iz.ru/653385/anastasiia-kniazeva/proizvoditeli-produktov-zaplatiat-za-negativnoe-vozdeistvie-na-prirodu. – (Дата обращения: 25.11.2017).

4. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Кн. 1. Математическое описание, анализ устойчивости и качества систем автоматического регулирования / В. В. Солодовников [и др.]. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1967. – 770 с.

5. Стахов, Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов / Е. А. Стахов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.

6. Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе. Часть 1 / С. В. Степанов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – № 12. – С. 28–34.

УДК 621.314

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТРАНСФОРМАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS MAXWELL

НГУЕН ТИЕН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

При работе трансформаторов возникают потери энергии, превращающиеся в конечном счете в теплоту. Теплота повышает температуру обмоток, магнитопровода, контактных соединений, конструктивных деталей и одновременно рассеивается в окружающую среду [2]. Нагрев ограничивает мощность и приводит к старению изоляции. Теоретическое обобщение процессов теплового распределения с учетом динамического движения масла в трансформаторах и диагностика ресурса «трансформатор» является актуальной задачей.

В данной работе для моделирования используется программный пакет Ansys Maxwell [5]. Это мощная интерактивная среда для моделирования и расчетов большинства научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных методом конечных элементов [3]. Ansys Maxwell позволяет решать задачи как прикладные, так и сопряженные. Работа в среде Ansys Maxwell не требует глубокого знания математической физики и метода конечных элементов.

Полная трёхмерная компьютерная модель нелинейной термогидравлической системы, как трансформатор с масляным охлаждением включает в себя геометрическое моделирование с детальной структурой всех трёх фаз, магнитопровода и рабочих обмоток [4]. Такая модель обеспечивает получение основных интегральных характеристик тепловыделяющей системы и температуры на генерирующих тепло поверхностях.

Для моделирования на уровне макромодели обмотка представлена эквивалентным сплошным твёрдым телом без отдельного рассмотрения конвекции в межвитковых горизонтальных каналах и детальной структуры катушек с изоляцией и прокладками. Задачей моделирования является описание и общий расчёт теплогидравлических процессов трансформатора с учётом всех теплогенераций трансформатора [1].

В среде Ansys Maxwell созданы компьютерные модели трансформатора без дефектов и с повреждениями. Определены 3D- и 2D- температурные поля трансформатора в нестационарном режиме. Показаны наиболее нагретые части трансформатора в зависимости от времени работы. Интерактивная модель является весьма удобным и перспективным способом мониторинга и диагностики силового электрооборудования, что позволяет прогнозировать и продлевать его ресурс.

Литература

1. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов / П. М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –528 с.

2. Теплопередача: учебник для вузов / В. П. Исаченко [и др.]. – М.: Энергоиздат,1981. – 416 с.

3. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

4. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: учебное пособие для теплофизич. и теплоэнергетич. спец. вузов / Дульнев [и др.]. – М.: Высш. шк., 1990. – 207 с.

5. Моделирование процессов теплообмена средствами пакета конечно-элементного анализа ANSYS [Электронный источник]. – Режим доступа: http://lib.knigi-x.ru/23raznoe/126936-1.php.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ СЛУЖБ ПРЕДПРИЯТИЯ

РАХМАТУЛЛИНА Г.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. НИКОЛАЕВА С.Г.

Офисная техника – неотъемлемая часть технического оборудования любого предприятия. К офисной технике в широком смысле можно отнести любые технические средства, облегчающие работу в офисе, начиная от карандашей и авторучек и заканчивая компьютерами, плоттерами. Практически все управленческие и технологические процессы в той или иной степени используют средства вычислительной техники. На сегодняшний день персональные компьютеры устанавливают на каждом рабочем месте и уже, как правило, никто не сомневается в их необходимости.

Актуальность задачи автоматизации учета компьютерного и другого оборудования на предприятии возрастает при наличии большого парка компьютеров, офисной техники, торгового и другого оборудования. Благодаря оргтехнике скорость обработки документов увеличивается. Широкое внедрение информационных технологий для управленческого учета ставит перед службами автоматизированного системного управления предприятий требования быстрого и четкого реагирования на изменения в потребностях в оргтехники на предприятии, на обеспечении ее бесперебойного функционирования и эффективного использования. Выполнение этих функций связано с необходимостью полной и оперативной информации о состоянии компьютерного парка предприятия. Такая информация может быть получена при автоматизированном ведении учета поступления, размещения, ремонтов оргтехники.

Слабое использование информационных технологий в управлении приводит к снижению производительности труда и эффективности работы управленческого персонала, к недопустимым задержкам при решении оперативных вопросов, а часто и к неверным их решениям ввиду отсутствия необходимой информации. Разрабатываемая программа способствует повышению эффективности производства экономического объекта и обеспечивает качество управления.

Главной целью работы является разработка программного обеспечения для автоматизации информационной системы учета и ремонта компьютерной техники предприятия.

Разрабатываемый программный продукт обеспечивает ведение качественного учета компьютерной техники, комплектующих, оргтехники, расходных материалов, установленного программного обеспечения по рабочим местам на предприятии. Также система предусматривает добавление, редактирование и удаление заявки на ремонт, авторизацию пользователей с разграничением прав доступа, учет компьютерного оборудования на складе, поставки и списанное оборудование, быстрый поиск данных о выбранном комплектующем на рабочем месте. Кроме этого, ведется учет сервисного обслуживания компьютеров и комплектующих, история обновлений программного обеспечения.

Программа обеспечивает корректное ведение базы данных, содержащих сведения о персонале предприятия (по отделам), рабочих местах, оснащении рабочего места компьютером, комплектующих, оргтехники, расходных материалах, программного обеспечения установленного на компьютерах, заявок на ремонт техники.

Автоматизированная система поддерживает все операции, связанные с учетом, обработкой и предоставлением необходимых данных.

Программный комплекс обеспечивает полный цикл обработки информации, которая содержится в таблицах данных, и позволяет формировать итоговые отчеты по данным из этой базы (список IP-адресов; автоматизированные рабочие места по отделам; устройства на гарантии; обновления программного обеспечения; выданные расходные материалы и т. п.). Все отчеты имеют возможность выгрузки в pdf файл, Exel, Microsoft Word.

Предполагается внедрение автоматизированной системы управления производством в технологический процесс, что позволит повысить эффективность работы отдельных служб и предприятия в целом.

Литература

1. Бхуптани, М. RFID технологии на службе вашего бизнеса / М. Бхуптани, Ш. Морадпур. – Sun Microsystems Inc., 2011. – 350 с.

2. Гусева, Т. И. Проектирование баз данных в примерах и задачах / Т. И. Гусева, Ю. Б. Башин. – 2008.

3. Информационные системы в экономике: учебник для студентов вузов / под ред. Г.А. Титаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 463 с.

4. Божко, В. П. Информационные технологии в экономике и управлении / В. П. Божко, Д. В. Власов, М. С. Гасприан. – М.: Изд. центр ЕАОИ, 2008. – 120 с.

УДК 004.42

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

РЯБЫХ И.А., МУРАТОВ Р.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БОГДАНОВ А.Н.

Разработка направлена на обучение персонала диагностическим и ремонтным работам на энергетических объектах.

Разрабатываемый тренажерный комплекс учитывает требования СО 153-34.20.501-2003, СО 153-34.20.120-2003 и других действующих нормативных документов, касающихся эксплуатации и организации проведения работ на действующих ЭУ.

Тренажерный комплекс включает в себя аппаратную часть, состоящую из вычислительного устройства и технических средств виртуальной реальности (очки виртуальной реальности), и специализированного программного обеспечения – тренажера, позволяющего пользователю взаимодействовать с трехмерной моделью электрической подстанции посредством средств виртуальной реальности по заранее заложенным сценариям.

Специализированное ПО-тренажер включает в себя следующие функции:

– перемещение пользователя в виртуальном пространстве;

– вывод тестовой информации в виде подсказок, информации о задании, о окружающих объектах, о необходимых инструментах для работы на электрической подстанции;

– воспроизведение аудиоинформации о задании, о окружающих объектах, о необходимых инструментах для работы на электрической подстанции;

Тренажер включает в себя моделирование (имитацию) следующих видов работ (ситуаций):

1. Осмотр оборудования при приемке-сдаче смены:

– контроль исправности аварийной и предупредительной сигнализации;

– осмотр средств защиты персонала;

– проверка состояний средств диспетчерской связи.

2. Периодический осмотр согласно графику осмотров оборудования:

– дневной осмотр (осмотр трансформаторов/автотрансформаторов, оборудования распределительных устройств, вспомогательного оборудования, оборудования ОПУ, оборудования ГЩУ, зданий, сооружений и т. п.);

– ночной осмотр (осмотр трансформаторов/автотрансформаторов, оборудования распределительных устройств).

3. Осмотр оборудования при производстве оперативных переключений.

4. Производство оперативных переключений в электроустановках.

Пользовательский интерфейс обеспечивают наглядное, интуитивно понятное представление структуры, размещенной на нем информации, быстрый и логичный вывод информационного окна. Навигационные элементы обеспечивают однозначное понимание пользователем их смысла: переходы на страницы снабжены заголовками и комментариями (подсказками), условные обозначения соответствуют общепринятым. Графические элементы навигации снабжены альтернативной подписью.

Результатом разработки будет готовый к работе тренажерный комплекс, включающий в себя специализированное ПО, очки виртуальной реальности и инструкции по эксплуатации ПАК.

Литература

1. Россохин, А. В. Виртуальное счастье или виртуальная зависимость (опыт психологического анализа ИСС) / А. В. Россохин, В. Измагурова // Виртуальная реальность в психологии и искусственном интеллекте. – М.: Российская ассоциация искусственного интеллекта, 1998. – С. 247–256.

2. Таратута Е. Е. Философия виртуальной реальности / Е. Е. Таратута. – СПб.: СПбГУ, 2007.

3. Розенсон, И. А. Основы теории дизайна / И. А. Розенсон. – Питер, 2006.

УДК 65.011.56

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

САФИН И.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. САФИН М.А.

В настоящее время создание автоматизированных систем управления климатом в производственных и офисных зданиях является одной из наиболее актуальных задач. Это объясняется тем, что автоматизация способствует экономии на эксплуатации и обслуживании систем. В частности, особое внимание обращается на повышение уровня автоматизации, надежности, безопасности и гибкости систем управления климатом. Поскольку именно в этих системах требуется достигать требуемой температуры за короткий промежуток времени. Однако, автоматизируя системы управления климатом, удается достичь лишь части возможного эффекта. Современные средства автоматизации достигли такого уровня, что происходит в основном улучшение их характеристик. Принципиально новых, качественно меняющих организацию систем автоматизации становится очень мало. В связи с этим стоит обратить внимание не на аппаратные средства, а на программные.

Одним из простейших методов, который помогает более точно получать информацию о процессе и выдавать более точные сигналы управления, является нечёткая логика. Если в обычной алгебре логики мы имеем два значения «ложь» и «истина», то в нечёткой логике их может быть больше, что помогает получать данные о процессах с большей точностью.

Для большинства больших помещений в качестве источника поддержания климата используют системы приточной вентиляции. В качестве объекта автоматизации рассматривается разработанная установка. При ее создании была поставлена цель – создать лабораторно-экспериментальный стенд для изучения различных алгоритмов управления установкой приточной вентиляции с электрическим нагревом.

Установка собрана на базе микроконтроллера Simatic S7-200 фирмы SIEMENS. В качестве среды для разработки алгоритмов, написания и отладки программ был выбран программный продукт MATLAB с пакетом моделирования Simulink. Связь системы MATLAB с микроконтроллером Simatic S7-200 осуществляется по протоколу OPC и программы PC-Access.

В данный момент реализуется управление при помощи ПИ-регулятора, построенного в программной среде Simulink. Также рассматривается метод регулирования приточных вентиляционных установок на базе нечеткой логики (Fuzzylogic).

Существующая вентиляционная установка имеет большое теоретическое и практическое значение, так как ее использование возможно при изучении воздействия различных алгоритмов управления на поддержание температуры отапливаемого помещения. Целью создания установки является проверка теории о том, что алгоритм управления, реализованный на базе нечёткой логики, должен улучшить точность и качество управления технологическим процессом.

Литература

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб, и доп. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.

2. Васильев, А. Н. Matlab. Практический подход. Самоучитель / А. Н. Васильев. – СПб.: Наука и техника, 2015. – 448 с.

УДК 621.45.022.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КОТЛЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВНЕШНЕГО ДИАМЕТРА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

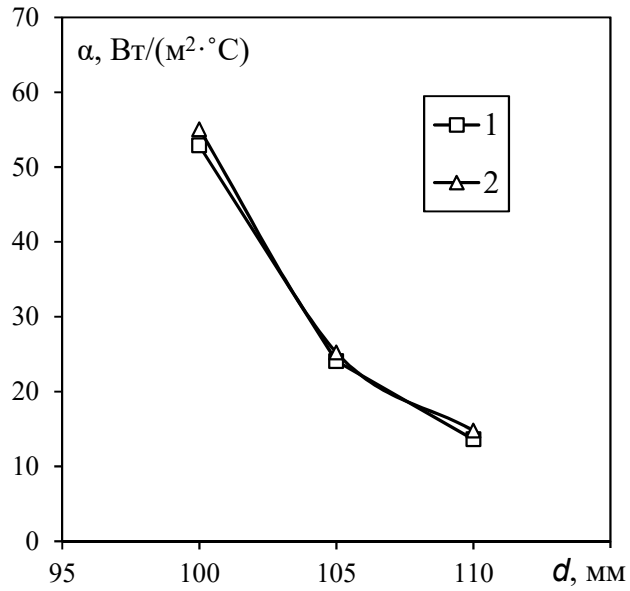
СЕМЕНОВА Ю.О., ЗИНУРОВ В.Э., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Анализ работы газовых котлов и совершенствование процессов сгорания углеводородного топлива в топках для повышения их эффективности является актуальным и представляет большой интерес. Основным направлением деятельности в области повышения эффективности процесса сгорания углеводородного топлива в топки является оптимизация геометрии камеры сгорания.

При создании собственного котла необходимо максимально уменьшить тепловые потери. Потери тепла разделяют на 3 составляющие: потери тепла от химической неполноты сгорания топлива, потери тепла в окружающую среду, вызванные большой разницей температур между наружными стенками агрегата и окружающим воздухом, и потери тепла с уходящими газами.

В данной работе исследовалось влияние геометрических размеров камеры сгорания при процессе сгорания природного газа. Объемный состав газа задавался по справочным данным: CH_4 – 95,5 %, C_2H_6 – 0,8 %, C_3H_8 – 0,4 %, C_4H_{10} – 0,08 %, CO_2 – 0,22 %, N_2 – 3,0 % [1]. Расчет производился в программном комплексе ANSYS Fluent. Результаты были представлены в виде графика, иллюстрирующего зависимость показателя *d* от внутреннего диаметра камеры сгорания (рисунок).



Зависимость показателя α от внутреннего диаметра камеры сгорания *d*:
1 – чугун; *2* – сталь

Результаты исследования показали, что увеличение диаметра внешнего контура камеры сгорания котла негативно влияет на эффективность работы котла, снижая его КПД.

Литература

1. Михайловский, В. П. Расчеты горения топлива, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных и железобетонных изделий / В. П. Михайловский, Э. Н. Мартемьянова, В. В. Ушаков. – Омск: СибАДИ, 2011.

УДК 65.011.56

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭЦ МЭИ

СЕМЕНОВА К.С., ШАКИРОВА К.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Мониторинг вредных выбросов ТЭС – актуальнейшая задача сегодняшнего дня. Обеспечение экономической и экологической эффективности работы энергетического оборудования невозможно без использования современных средств непрерывного инструментального контроля. Производственный мониторинг предполагает контроль вредных выбросов и оптимизацию технологических процессов сжигания топлива. Экологический мониторинг – это система анализа качества атмосферного воздуха на местности с вычленением вклада отдельных источников вредных выбросов в загрязнение атмосферного воздуха района.

Работы по созданию систем непрерывного мониторинга вредных выбросов (СНМВ) тепловых электростанций проводятся в МЭИ с 1995 г. В МЭИ была разработана и утверждена в Минприроде Республики Татарстан концепция отраслевой СНВМ для этой республиканской энергосистемы. Позже элементы этой СНМВ были внедрены на реальных промышленных объектах – Казанских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3.

Для реализации СНМВ на ТЭЦ МЭИ предусмотрены газоанализаторы и газоаналитические системы, установленные в газовом тракте котла БКЗ-50-40-440ГМ, для контроля содержания O_2, CO, NO и NO_2 в продуктах сгорания. В контрольном сечении котла за трубчатым воздухоподогревателем (ТВП) установлен измерительный комплекс «in-situ» для измерения концентраций NO_x, SO_2, CO, CO_2, H_2O, и O_2, а также для определения скорости потока дымовых газов и их расхода. Комплекс дополнительно оснащен датчиками температуры и давления. Данные по концентрациям вредных выбросов в режимном и контрольном сечениях котла используются для контроля и регулирования процесса сжигания топлива, для контроля и учета вредных выбросов в атмосферу. Поэтому котел был оборудован системой регулирования подачи топлива и воздуха по горелкам для реализации малоэмиссионных режимов сжигания природного газа.

Система экологического мониторинга включает в себя четыре стационарные метеостанции, регистрирующие параметры атмосферного воздуха (температуру, давление, влажность, концентрации присутствующих вредных веществ, скорость и направление ветра) в районе воздействия ТЭЦ.

Разработка операторского интерфейса выполняется в SCADA системе «TRACE MODE». Для вывода текущих характеристик котла на рабочие станции, как внутри ТЭЦ, так и удаленным пользователям, на рабочие станции устанавливается программный продукт NetLinkLight 6 – это клиентский исполнительный модуль – графическая консоль SCADA/HMI системы TRACE MODE 6. Она предназначена для создания дополнительных автоматизированных рабочих мест (АРМ), подключающихся к серверам TRACE MODE 6 по любому из поддерживаемых в TRACE MODE интерфейсов. Основной функцией NetLinkLight является прием текущих данных в формате реального времени от серверов TRACE MODE.

TRACE MODE DataCenter является специализированным web-сервером SCADA TRACE MODE, обеспечивающим удаленный доступ к информации реального времени через веб-браузер по Internet/Intranet сетям или по беспроводной сети (GSM, GPRS, Wi-Fi, Bluetooth). При помощи этого продукта можно получить доступ к данным с любого персонального компьютера (ПК) предприятия. Для обеспечения безопасности с целью предотвращения несанкционированного доступа к данным системы возможно организовать подключение к TRACE MODE DataCenter с внешних ПК в Сети через надежный шифрованный канал VPN.

Литература

1. Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования: постановление Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 400.

2. URL:/ http://www.rg.ru/2004/08/11/prirodopolzovanie-doc.html/

3. Разработка концепции системы мониторинга вредных выбросов тепловых электростанций / П. В. Росляков [и др.] // Вестник МЭИ. – 1997. – № 4. – С. 53–60.

4. Система мониторинга вредных газообразных и жидких выбросов тепловых электростанций / П. В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 1998. – № 3. – С. 19–27.

5. Опыт эксплуатации систем контроля выбросов в атмосферу производства SICK/MAIHAK / Ю. В. Щелоков [и др.] // Энергетик. – 1998. – № 3. – С. 23–27.

6. Орлова И. А. Опыт эксплуатации системы контроля выбросов в атмосферу на Казанской ТЭЦ-1 / И. А. Орлова, М. Я. Мотро, А. В. Зуев// Энергетик. – 2001. – № 1. – С. 17–22.

7. Проблемы выбора и установки измерительного оборудования для систем непрерывного контроля вредных газообразных выбросов на ТЭС / П. В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 2014. – № 8. – С. 24–30.

УДК 65.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ СПОРТИВНОГО ОБЪЕКТА

ТАРАСОВ А.И., ФАТЫХОВ А.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВ В.В.

Спортивные сооружения – это материально-техническая база физической культуры и спорта. Развитие массовости физической культуры и рост спортивных достижений немыслимы без специальных сооружений, создающих оптимальные условия для проведения оздоровительных мероприятий, тренировок и соревнований. В свою очередь, развитие физической культуры и спорта стимулирует создание новых спортивных комплексов.

Проблема многих спортивных сооружений – в плохой циркуляции воздуха в помещении. Для решения проблем, связанных с большим влаговыделением, большим количеством зрителей, высокими потолками, требуется высокая квалификация и опыт.

Под определением зоны подразумевается совокупность помещений, имеющих одинаковый характер нагрузок на вентиляционную систему. Суть зонального терморегулирования состоит в том, что температура подаваемого воздуха зависит от тепловой нагрузки в каждом конкретном помещении. Причем необходимая температура поддерживается в каждом помещении и не зависит от выбранных температурных установок в других.

Согласно предназначению, система зонального вентилирования может работать в следующих режимах: нагрев, охлаждение и вентиляция, каждый из которых имеет свой собственный алгоритм работы. Ключевыми компонентами такой системы являются:

1. Блок управления. На него возложены функции сбора показания различных датчиков, выбор алгоритма работы, управление другими блоками вентиляционной системы.

2. Термостаты и пульты управления. Совокупность расположенных во всех помещениях термостатов и пультов позволяет блоку управления получать данные о температуре и получать данные от пользователей.

Под зоной понимается одно помещение или ряд помещений с однохарактерными нагрузками. Принцип работы данной системы регулирования основан на изменении расхода приточного воздуха в зависимости от тепловой нагрузки в данном конкретном помещении. При этом требуемая температура поддерживается в каждом помещении индивидуально вне зависимости от того какой режим.

Система зонального регулирования Carrier Comfort Zone II (CCZ II) представляет собой систему с переменным расходом воздуха (количественный способ регулирования) которая стандартно сочетается со всеми кондиционерами Carrier, осущестляющими подачу обработанного воздуха по воздуховодам. Система зонального регулирования CCZ II обеспечивает поддержание требуемого индивидуального температурного режима в нескольких зонах, количеством не более восьми.

В качестве альтернативного варианта использование миницентральных воздушных систем с возможностью подмеса наружного воздуха (как правило, кондиционеры канального типа). В этом случае для объектов с большим количеством помещений с разнохарактерными нагрузками невозможно точное поддержание температурных условий в разных помещениях (как правило, регулирование происходит либо по «контрольному» помещению, либо по температуре рециркуляционного воздуха).

Используя настройки в неиспользуемых зонах, можно понизить температуру и сэкономить энергоресурсы. К примеру, вы не часто посещаете гостиную, но к приходу гостей ее можно подогреть до комфортной температуры.

Идея, лежащая в основе передовой системы вентиляции, заключается в следующем: вентилировать столько, сколько необходимо, без перекосов в сторону больше или меньше. Такие системы, как Swegon WISE позволяют управлять различными выходными параметрами: соотношение приточного и вытяжного воздуха, обогрев, качество приточного воздуха.

Во время соревнований на каждого спортсмена нужно подать 80 $м^3$/ч свежего воздуха, на каждого зрителя – 20 $м^3$/ч. Суммарно речь может идти о 100 000 $м^3$/ч. Кроме обеспечения требуемого объема необходимо, чтобы этот воздух подавался правильно. Кроме очистки потребуется эффективный механизм установки нужного температурного режима для занятий. Система вентиляции подбирается для каждого зала индивидуально.

При проектировании климатических систем приходится решать целый комплекс задач: распределение воздуховодов, нормальную работу нагнетателей, работу системы рекуперации теплоты. Проблема высоких расходов на эксплуатацию и обслуживание систем в значительной степени решается при помощи систем автоматизации и диспетчеризации.

УДК 621.45.022.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СГОРАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ТОПКЕ ГАЗОВОГО КОТЛА

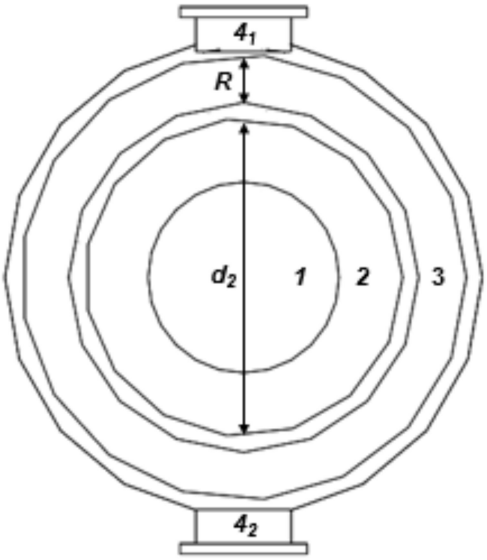
ХАЗЕТДИНОВА А.Д., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

В связи с импортозамещающей и энергосберегающей политикой в стране значимость разработки собственных эффективных, экономических и экологических котлов возросла. Также по причине наложения экономических санкций западными странами на нашу страну стало экономически невыгодно приобретать технологическую продукцию в западных странах из-за повышения цены на доллар практически в два раза, а в некоторых случаях невозможно, если санкции запрещали фирмам-производителям продавать свою продукцию российским государственным компаниям.

Особый интерес представляет разработка собственной камеры сгорания, создание которой позволит наладить выпуск своей технологической продукции и существенно снизить экономическое давление на энергетические компании. Одним из главных требований, предъявляемых к современным камерам сгорания, является высокая эффективность, поэтому необходимо максимально уменьшить тепловые потери при сгорании углеводородного топлива в камере сгорания.

В данной работе проводился расчет сгорания углеводородного топлива. Для этого рассматривался газовый котел мощностью $Q = 50$ кВт, имеющий предполагаемую камеру сгорания длиной $L_1 = 600$ мм. Предполагается, что в камере сгорания будет использоваться газогорелочное устройство фирмы Polidoro Premix с следующими конструктивными параметрами: $d = 60$ мм, $L_2 = 600$ мм (рис.). Расчет производился в программном комплексе ANSYS Fluent. На выходе из камеры сгорания задавалось атмосферное давление 10^5 Па.



2-D модель камеры сгорания (вид сбоку)

Результаты численного моделирования показали, что для создания наиболее эффективной камеры сгорания для котла необходимо конструктивно оформлять камеру сгорания таким образом, чтобы расстояние между горелкой и внутренним контуром камеры сгорания было минимальным.

УДК 621.483

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

ХАЛЛЫЕВ И.А., КГЭУ, ГАЛИЕВ А.И., КНИТУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

Целью данного проекта является исследование систем теплоснабжения для коттеджных домов, которые используют тепловой насос, льдоаккумулятор и углеродные нанотрубки. Рассматриваемый тепловой насос взаимодействует с льдоаккмулятором, имеющим новый тип теплообменника, который способен осуществлять размораживание. Более того, произведена оценка выгоды от использования теплоты сточных вод.

Термодинамический тепловой насос идентичен холодильной установке. Но основное отличие заключается в том, что в холодильной установке целью является отбор теплоты из объекта с помощью испарителя, и отдача теплоты конденсатором. Конденсатор представляет собой теплообменное устройство, которое выделяет теплоту для потребителя, а испаритель – является устройством, утилизирующим теплоту с низким потенциалом.

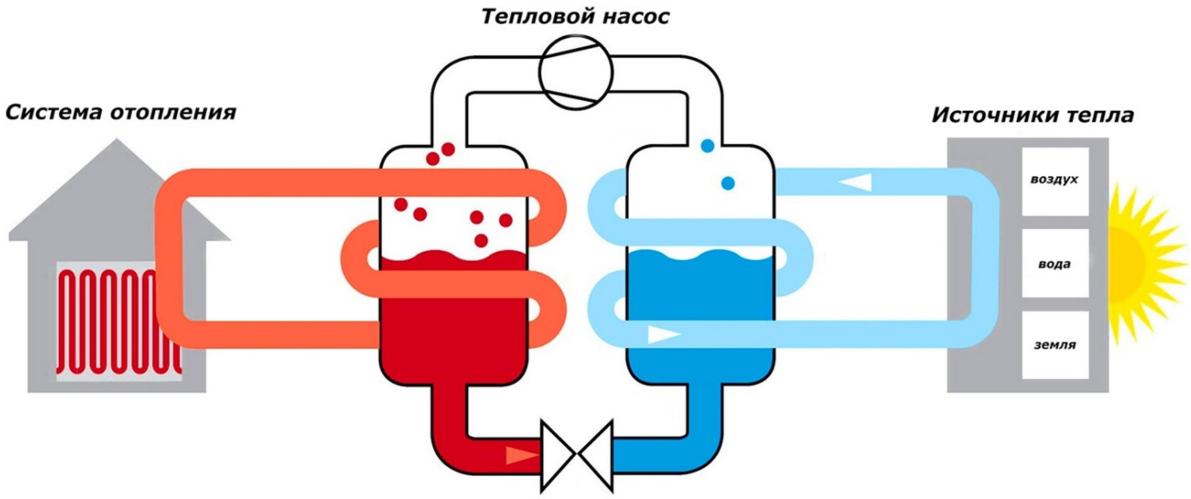


Схема теплонасосной системы отопления

Комбинированное использование солнечных коллекторов и теплонасосных систем без льдоаккумулятора получило популярность в последнее десятилетие, благодаря возможности увеличения использования возобновляемых источников энергии в области теплоснабжения и на объектах местной водоподготовки. Исследования систем солнечных коллекторов и тепловых насосов ведутся на протяжении многих лет. Несмотря на это, только недавно было достигнуто значительное увеличение количества установленных таковых систем на Европейском промышленном рынке. В 2013 было проведено обследование около 90 компаний и обнаружено что большинство из них вошли на рынок недавно, и что большое количество компаний находятся на территориях Германии и Австрии.

Первые попытки включения льдоаккумулятора в состав системы солнечного коллектора и теплового насоса были предприняты в 1970-х годах. Однако только на протяжении последнего десятилетия компании начали заказывать такой комплект отопительной системы.

Было обнаружено, что увеличение размеров компонентов теплового насоса (коллекторная область и льдоаккумулятор) является выгодным, так как приводит к снижению зависимости от резервного электрического отопления. Но экономические расчеты показывают, что стоимость генерации тепловой энергии в системах с компонентами больших размеров выше, чем в обычных системах.

Дополнительной целью данного проекта является использование углеродных нанотрубок в одном из трёх контуров теплонасосной системы. На сегодняшний день в каждом из этих трёх контуров используется разные виды теплоносителей. В первом контуре, который связывает тепловой

насос с источником тепла, используется антифриз (не меняет своё агрегатное состояние при температурах ниже 0 °С). Второй контур находится внутри теплового насоса, и в нём циркулирует фреон. В третьем контуре используется вода, и он соединяет тепловой насос с потребителем тепла. Углеродные нанотрубки можно использовать в первом контуре теплонасосной системы. Данное применение приведет к снижению стоимости монтажа и повышению надежности системы в целом, путем исключения из неё насоса первого контура.

Зависимость электропотребления системы от изменения размеров основных компонентов (коллекторная область и льдоаккумулятор) рассчитывается с помощью симуляторного программного обеспечения TRNSYS.

Литература

1. Айнштейн, В. Г. Оптимизация полного теплового насоса в процессах химической технологии / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов // Химическая промышленность. – 2001. – № 1. – С. 18.

2. Об одном направлении повышения эффективности энергетических систем на базе авиационных газотурбинных двигателей / В. Е. Алемасов [и др.] // Известия РАН. Энергетика. – 1998. – № 4. – С. 92–96.

3. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства / Р. А. Амерханов [и др.]. – М.: Колос-Пресс, 2002. – 424 с.

4. Амерханов, Р. А. Тепловые насосы / Р. А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.

5. Аминов, Р. З. Векторная оптимизация режимов работы электростанций / Р. З. Аминов. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 304 с.

УДК 65.011.56

СИСТЕМА НЕПРЯМОГО СУХОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГЕЛЛЕРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

ХАСАНШИН А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВ В.В.

Традиционные методы охлаждения на электростанциях – это чрезвычайно водоёмкие процессы: такое охлаждение требует использования больших естественных водоемов, а сброс тепла в них вызывает тепловое загрязнение окружающей среды [2].

Испарительные градирни требуют значительных объёмов подпиточной воды, а также они выбрасывают клубы насыщенных паров и загрязнения, скопившиеся в воде, а это наносит ущерб окружающей среде.

Существуют сухие и мокросухие методы охлаждения, предлагающие все более осуществимые альтернативные решения. Эмитируя только тепло и чистый воздух, они не оказывают отрицательного воздействия на окружающую среду и в то же время освобождают электростанцию от зависимости от водных ресурсов. [1]

В регионах, недостаточно обеспеченных водой, на выбор между испарительной и сухой системами охлаждения, кроме вопросов загрязнения окружающей среды, существенным образом воздействуют экономические соображения. Наиболее важным фактором, влияющим на принятые решения, является стоимость подпиточной воды градирни. В этих регионах электростанциях соперничают за ограниченные ресурсы воды с расширяющимися промышленными предприятиями и сельским хозяйством. Выбор в пользу электростанций с водосберегающей системой охлаждения обеспечивает возможность нормального развития целого региона при одновременном сохранении воды для будущего экономического роста.

Есть два типа сухих систем охлаждения – прямая и непрямая. Наиболее популярной среди них является непрямая система, система Геллера. В настоящее время уже имеются электростанции, где отвод тепла обеспечивается полностью охладителями, целью которых является увеличение мощности охлаждения в летний период за счет использования небольшого дополнительного количества воды.

В системе Геллера отводимое тепло сначала передается воде, которая протекает по замкнутому циркуляционному контору охлаждения, в поверхности или в смешивающем струйном конденсаторе. Затем поглощенное водой тепло передается окружающему воздуху на ребристых трубках теплообменников.

В данной схеме используется конденсатор традиционного типа, либо смешивающий струйный конденсатор. Так как контур охлаждения полностью замкнут, то в нем может циркулировать качественная питательная вода. В смешивающем струйном конденсаторе пар конденсируется в виде пленок воды на поверхности ребер, а вода смешивается с питательной водой. Вследствие прямого контакта температура воды может почти сравниться с температурой насыщенного выходного пара, тем самым в конденсаторе с прямым контактом достигается высокий вакуум, т. е. достигается меньшая конечная температурная разность.

При наличии в замкнутом контуре охлаждения поверхностного конденсатора для циркуляции воды используются простые насосы. Для вывода конденсата из горячего водосборника в питательную водяную систему требуется отдельная группа нагнетательных насосов [1].

В случае применения смешивающего конденсатора циркуляционные насосы могут быть применены не только для циркуляции охлаждающей воды, но и для вывода конденсата из конденсатора турбины. Таким образом, отпадает необходимость в применении отдельной группы насосов для откачки конденсата. Циркуляционные насосы увеличивают давление воды до такого уровня, что в системе не будет ни одной точки с давлением ниже атмосферного, что исключает подсос воздуха. Часть напора обратной воды может быть утилизирована в гидравлической турбине.

Водо-воздушные теплообменники (охладительные дельты) отводят тепло из цикла. Для сохранения работоспособности охладителей в течение всего срока службы электростанции желательно, чтобы они были монометаллическими. Охладительные дельты группируются в параллельные секции, которые можно подключать отдельно независимо друг от друга. Такая конструкция обеспечивает повышенную безопасность и надежность. [3]

Литература

1. Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен: монография / А. Г. Лаптев, И. А. Ведьгаева. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2004. – 180 с.

2. Гладков, В. А. Вентиляторные градирни / В. А. Гладков, Ю. И. Арефьев, В. С. Пономаренко; под ред. В.А. Гладкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1976. – 216 с.

3. Сабо, З. Повышение эффективности сбережения воды в системах охлаждения электростанций / З. Сабо // Энергетик. Специальный выпуск. – 2002. – С. 3–11.

УДК 66.02

СКОРОСТЬ СТЕКАНИЯ ЖИДКОСТИ В СТРУЙНО-БАРБОТАЖНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

ХАФИЗОВА А.И., ДМИТРИЕВ В.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ГИЛЬФАНОВ К.Х.

На предприятиях энергетической, химической, нефтеперерабатывающей промышленности широко используется оборотное водоснабжение. Охлаждение оборотной воды чаще всего происходит в градирнях испарительного типа. При испарительном охлаждении вода в градирнях течет

в виде пленки или капель. Наиболее эффективными считаются вентиляторные градирни, в которых охлаждение воздуха осуществляется посредством принудительной подачи воздуха в ороситель [1]. Процесс охлаждения происходит за счет испарения жидкости при стекании тонкой пленкой или каплями по оросителю, взаимодействуя с потоком воздуха, движущегося в противоположном направлении.

Важным конструктивным элементом градирни является ороситель. В настоящее время существует огромное количество конструкций оросителей, однако большинство из них имеет высокое гидравлическое сопротивление и сложную конструкцию для изготовления. Конструкция оросителя должна обеспечивать получение достаточной площади поверхности охлаждения для эффективного тепломассообмена.

Об эффективности тепломассообмена можно судить по скорости стекания жидкости в контактном устройстве.

Авторами данной работы были проведены исследования по стеканию жидкости в струйно-барботажном контактном устройстве и сделаны выводы. Большое влияние на скорость жидкости оказывают отверстия в нижней части элементов, так как именно через них жидкость стекает с максимальной скоростью. Увеличение скорости потока газа снижает скорость движения жидкости.

Исследования показали, что данные устройства позволяют создавать наиболее оптимальные условия для тепломассообменных процессов при обеспечении высокой эффективности и небольших энергетических затратах.

Литература

1. Повышение эффективности охлаждения воды, модернизация и исследование градирен как объекта управления: монография / К.Х. Гильфанов [и др.]. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. – 220 с.

УДК 681.5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

ШАТСКИХ В.О., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. доц. ТЕТЕРЕВКОВ И.В.

В практике проектирования и настройки систем регулирования на базе ПИД-регуляторов распространено предположение о линейности объекта управления. Для теплоэнергетики такое допущение часто является

неоправданным, что приводит к потере технико-экономической эффективности [2]. Рассмотрим типичную структуру объекта, обладающего свойством самовыравнивания (рис. 1). Ограничившись стационарным случаем, можно считать основными источниками нелинейности два элемента: исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО).

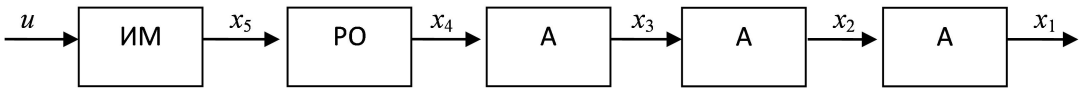


Рис. 1. Структура объекта управления: А – апериодическое звено; u – управляющее воздействие; x_i – координаты состояния объекта

Для ИМ наиболее существенным проявлением нелинейности являются ограничения по его положению, а для РО – нелинейность его расходной характеристики (рис. 2).

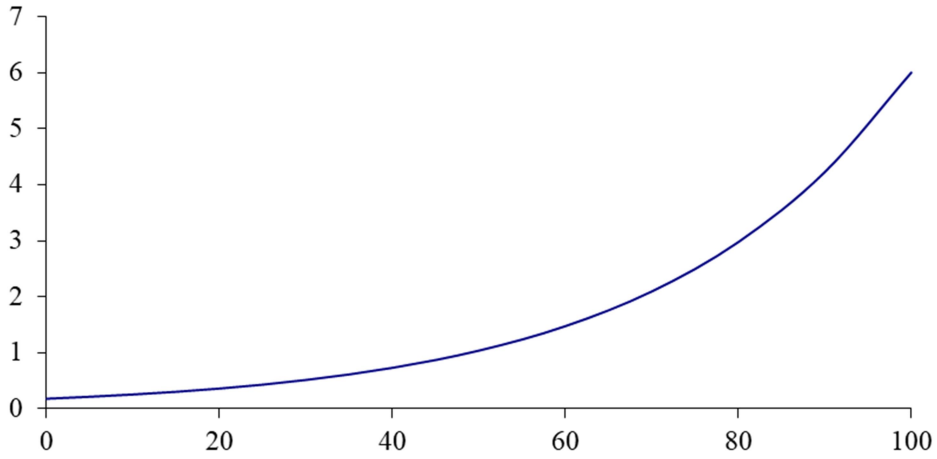


Рис. 2. Пример расходной характеристики РО

Будем считать 50 % номинальным положением РО и запишем систему дифференциальных уравнений, описывающих динамику объекта, понимая под $x_1 \div x_5$ значения не самих координат состояния, а их отклонений от базовых значений (T_{r0} – постоянная времени РО, расходная характеристика соответствует рис. 2):

$$\begin{cases} \dot{x}_5(t) = u; \quad \dot{x}_4(t) = -\dfrac{1}{T_{ro}} x_4(t) + \dfrac{1}{T_{ro}} \left(0{,}18 e^{[0{,}03351 x_5(t) + 1{,}7533]} - 1{,}04 \right); \\ \dot{x}_3(t) = -0{,}05 x_3(t) + 0{,}25 x_4(t); \\ \dot{x}_2(t) = -0{,}02 x_2(t) + 0{,}2 x_3(t); \\ \dot{x}_1(t) = -0{,}04 x_1(t) + 0{,}05 x_2(t). \end{cases}$$

Определим закон управления $u(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, воспользовавшись для этого методом АКОР (аналитическое конструирование оптимальных регуляторов) [1]. Создадим агрегированную макропеременную Ψ:

$$\Psi = x_5 + \beta_4 x_4 + \beta_3 x_3 + \beta_2 x_2 + \beta_1 x_1, \quad \beta_i > 0.$$

Для выражений условий оптимальности используем функционал

$$J_\Sigma = \int_0^\infty \left[m^2 \Psi^2(t) + c^2 \dot{\Psi}^2(t) \right] dt.$$

Первое слагаемое в подынтегральной функции связано с желанием ограничить разброс фазовых координат в процессе управления (аналогом является требование минимальной дисперсии), а второе направлено на поиск компромисса между потребностью снизить время переходного процесса и ограничить затраты на достижение слишком большой скорости движения.

Таким образом, наша система будет работать в два этапа: сначала она как можно быстрее и с минимальными потерями достигнет в фазовой плоскости линии инвариантного многообразия Ψ=0, а потом за счет внутренних связей в объекте (уже при нулевом управлении, т. е. при $u = 0$) перейдет по этой линии в нужную точку (0, 0, ..., 0).

Минимум нашего функционала достигается при равенстве

$$m^2 \Psi^2(t) = c^2 \dot{\Psi}^2(t),$$

что приводит к дифференциальному уравнению движения макропеременной

$$T\dot{\Psi}(t) + \Psi(t) = 0,$$

где $T = c/m$. Асимптотическая устойчивость при движении макропеременной Ψ достигается простым условием: $T > 0$.

Метод АКОР приводит к управляющему воздействию вида:

$$u = -\left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_n} \right)^{-1} \left[\sum_{k=1}^{n} \frac{\partial \Psi}{\partial x_k} f_k + \frac{1}{T} \Psi \right],$$

где f_k – выражение для правой части *k*-го уравнения системы, описывающей динамику объекта. Для нашего объекта имеем:

$$u = -\beta_1 (-0{,}04 x_1 + 0{,}05 x_2) - \beta_2 (-0{,}02 x_2 + 0{,}2 x_3) - \beta_3 (-0{,}05 x_3 + 0{,}25 x_4) -$$
$$-\beta_4 \left(-\frac{1}{T_{ro}} x_4 + \frac{1}{T_{ro}} \left(0{,}18 e^{[0{,}03351 x_5 + 1{,}7533]} - 1{,}04 \right) \right) -$$
$$- \frac{x_5 + \beta_4 x_4 + \beta_3 x_3 + \beta_2 x_2 + \beta_1 x_1}{T}.$$

В качестве примера на рис. 3 показана отработка 10 %-го возмущения положением РО для нашего оптимального регулятора (при $c = m = 1$ и $\beta_1 = \beta_4 = 1$, $\beta_2 = 10$, $\beta_3 = 20$) и для системы на базе обычного ПИ-регулятора.

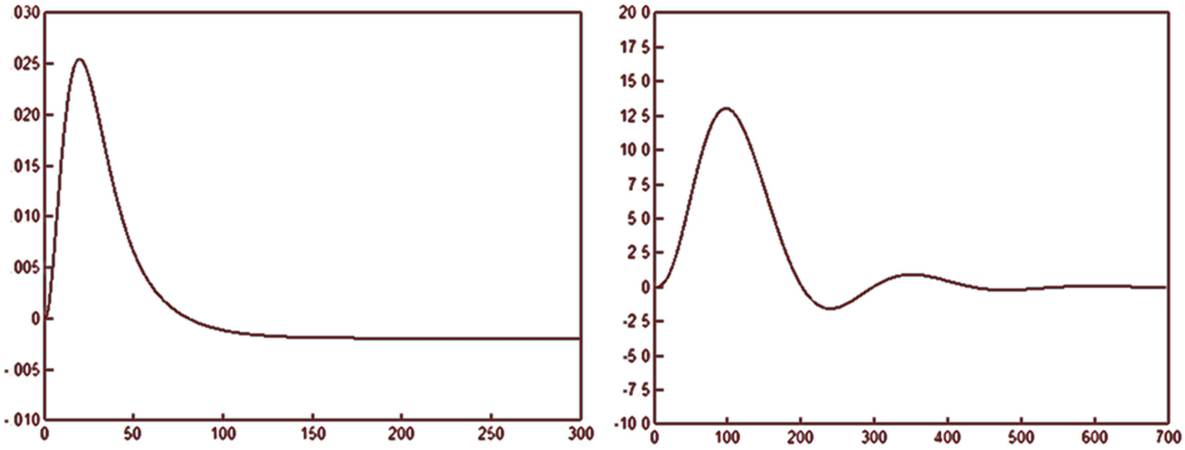


Рис. 3. Переходные процессы (слева – с оптимальным регулятором, справа – с ПИ-регулятором)

Отметим, что для оптимального регулятора время выхода на линию инвариантного многообразия составило 29,5 с. Значение функционала, характеризующего потери, составило 158,95 и 1790513, динамической ошибки – 0,025 и 13 для оптимальной системы и для ПИ-регулятора соответственно. Таким образом, метод АКОР приводит к существенно лучшему качеству управления нелинейным объектом.

В работе также приведены результаты исследования влияния настроечных коэффициентов β_i, c и m на показатели качества регулирования.

Литература

1. Колесников, А. А. Проектирование многокритериальных систем управления промышленными объектами / А. А. Колесников, А. Г. Гельфгат. – М.: Энергоатомиздат, 1993.

2. Шатских, В. О. Управление нелинейными объектами / В. О. Шатских // Материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения». – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. – 2017. – Т. 2.

Секция 6. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА, КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

УДК 662.76.032:662.76.035.5

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕСКИСЛОРОДНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

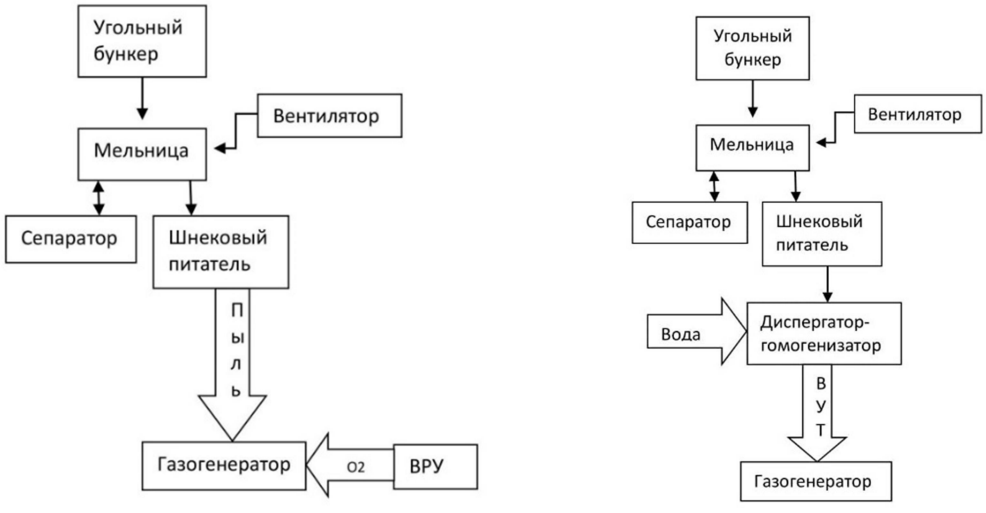
ГАЛЬКЕЕВА А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.;
канд. техн. наук, доц. АФАНАСЬЕВА О.В.

Оценка технико-экономической эффективности производства синтез-газа из углеводородного сырья позволяет определить экономическую выгоду при использовании различных способов газификации.

Для сравнения экономической эффективности были предложены способ бескислородной газификации водоугольного топлива – процесс осуществляется без подвода дутья, образование компонентов синтез-газа происходит при реагировании твердых и газообразных компонентов с паром, и способ газификации угольной пыли на кислородном дутье – при данном варианте обеспечивается максимальная эффективность процесса газификации, а получаемый синтез-газ не содержит балласта в виде оксидов азота, как при использовании воздушного дутья [1-3].

Схема производства синтез-газа из водоугольного топлива включает в себя приготовление угольной пыли, смешивание и гомогенизацию ее с водой для производства водоугольного топлива и газификацию в газогенераторе без подвода дутья (рис. 1, *а*).



а *б*

Рис. 1. Схема производства синтез-газа

Схема производства синтез-газа из угольной пыли топлива включает в себя приготовление угольной пыли, получение чистого кислорода в воздухоразделительной установке (ВРУ) и газификацию в газогенераторе (рис. 1, *б*).

Капитальные затраты на производство водоугольного топлива и угольной пыли складываются из затрат на оборудование $К_{об}$, транспортировку $К_{тр}$, монтаж $К_{м}$ и пуско-наладочные работы $К_{п-н}$:

$$К = К_{об} + К_{тр} + К_{м} + К_{п-н},$$

при этом $К_{м} = 0{,}1 \cdot К_{об}$, $К_{п-н} = 0{,}1 \cdot К_{об}$.

Эксплуатационные затраты на приготовление водоугольного топлива включают: затраты на оплату труда с учетом ЕСН, затраты на электроэнергию, затраты на воду, затраты на техническое обслуживание, амортизационные отчисления, руб./год:

$$Э = Э_{ФОТ} + Э_{э/э} + Э_{вода} + Э_{т.о.} + Э_{а}$$

Эксплуатационные затраты на производство угольной пыли рассчитываются аналогично, за исключением затрат на воду.

Себестоимость водоугольного топлива $P_{ВУТ}$, руб./т, определяется по формуле:

$$P_{ВУТ} = \frac{Э}{G^{год}_{ВУТ}} + P_{уг},$$

где $G^{год}_{ВУТ}$ – годовой расход водоугольного топлива, т/год; $P_{уг}$ – стоимость угля, руб./т.

Капитальные затраты при производстве синтез-газа из водоугольного топлива складываются из капиталовложений в газогенератор и систему золошлакоудаления, а при производстве газа из угольной пыли дополнительно учитываются затраты на работу воздухоразделительной установки (ВРУ).

Эксплуатационные затраты и себестоимость синтез-газа определяются аналогично предыдущим формулам.

В результате расчетов определено, что себестоимость газа из ВУТ составляет 2,38 руб/м^3, из угольной пыли 4 руб/м^3.

Результаты технико-экономической оценки производства синтез-газа из ВУТ и угольной пыли представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Экономические показатели производства топлива

Экономические показатели	Капитальные затраты, руб.	Эксплуатационные затраты, руб./год	Себестоимость топлива, руб./т
ВУТ	5 609 069	6 777 954	4215,6
Угольная пыль	11 827 320	13 119 984	11 561, 32

Таблица 2

Экономические показатели производства синтез-газа

Экономические показатели	Капитальные затраты, руб.	Эксплуатационные затраты, руб/год	Себестоимость синтез-газа, руб./м^3
Синтез-газ из ВУТ	7 974 144,4	10 455 574,5	2,38
Синтез-газ из угольной пыли	10 413 328	17 607 685, 24	4

Расчеты показывают, что производство синтез-газа из ВУТ является экономически выгодным, а также решает вопросы ресурсосбережения ввиду экономии как самого угля, так и природного газа при производстве химических продуктов.

При реализации синтез-газа по стоимости природного газа для предприятий (4 руб./м^3) и ставке по кредиту 13 % годовых срок окупаемости проекта составит 4 года. Чистая годовая прибыль при реализации синтез-газа из ВУТ по 4 руб./м^3 составит 3 386 892 руб./год.

При этом следует учесть, что дальнейшая термохимическая переработка синтез-газа с целью получения широкого спектра химической продукции может быть упрощена по сравнению с использованием в качестве исходного сырья природного газа ввиду отсутствия стадии конверсии метана в синтез-газ.

Литература

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования: утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21 июня 1999 г. № ВК 477. – М.: Информэлектро, 1994. – 81 с.

2. Ноздренко, Г. В. Эффективность применения в энергетике КАТЭКа экологически перспективных энерготехнологических блоков электростанций с новыми технологиями использования угля / Г. В. Ноздренко. – Новосибирстк: НЭТИ, 1992. – 261 с.

3. Технико-экономическая эффективность энергоблоков ТЭС: учебное пособие / В. С. Ларионов [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 31 с.

УДК 621.181.27

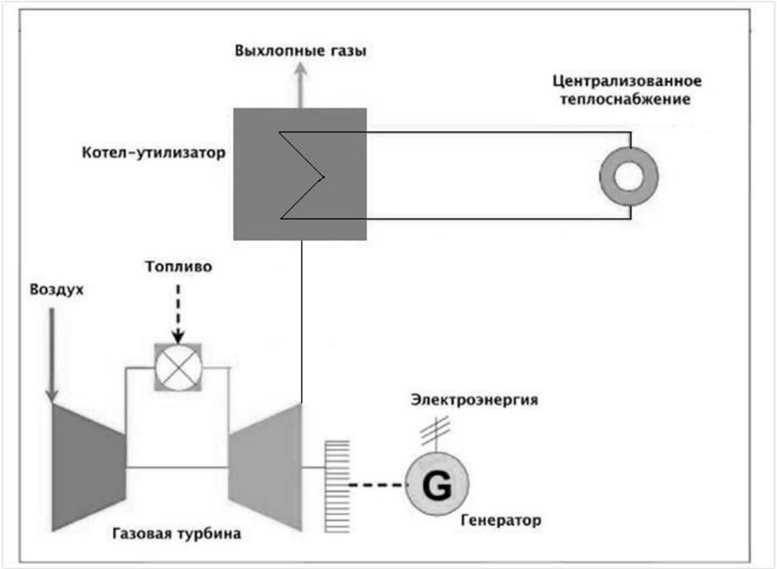
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

ЗАББАРОВ С.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

Газотурбинные установки имеют большое значение на рынке энергетического оборудования не только в крупной, но и в малой энергетике. Многие годы использование основного вида топлива (природного газа) на ТЭЦ осуществлялась неэффективно. Для решения вопросов энергосбережения в условиях дефицита инвестиций приоритетным направлением повышения экономичности вновь сооружаемых и реконструируемых ТЭЦ и котельных является использование газотурбинных и парогазовых технологий. Применение парогазовых технологий на ТЭЦ обеспечивает: сокращение использования природного газа (до 25–30 % по сравнению с паросиловыми установками), сокращение вредных выбросов в атмосферу (для NOx в 2,5–3 раза) и так далее. Одним из эффективных направлений применения ГТУ в теплофикации является их совместная работа с водогрейными котлами и паровыми котлами низкого давления по схеме со сбросом газов в топки указанных котлов. Создание ГТУ ТЭЦ на базе отопительных котельных представляется наиболее дешевым, эффективным и простым техническим решением для снижения затрат топлива на производство электроэнергии. Объектами внедрения циклов с ГТУ могут быть малые и средние промышленные и коммунальные котельные, обеспечивающие до 40 % суммарной тепловой нагрузки страны. В основном они устанавливаются на автономных энергетических объектах – мини-ТЭС. Газотурбинные установки малой мощности имеют номинальную мощность до 25 МВт и меньший КПД, чем газотурбинные установки больших мощностей, но благодаря использованию их на мини-ТЭС потери на транспортировку электрической и тепловой энергии минимальны. Применение газотурбинных и парогазовых установок сдерживалось из-за отсутствия в стране надежных и экономичных газотурбинных установок. Чаще всего вместе с газотурбинными установками используются котлы-утилизаторы.

Рассмотрим котел-утилизатор КВ-14-132 (модели ТКУ-9). Это котел-утилизатор, изготовленный в 2000 году Таганрогским котлостроительным заводом «Красный котельщик». Он предназначен для подогрева сетевой воды за счет тепла выхлопных газов газотурбинной установки мощностью 6 МВт. Котел-утилизатор является водогрейным, то есть все выработанное им тепло уходит на централизованное теплоснабжение. В состав котла-утилизатора входят: блок-модуль поверхности нагрева, две ступени шумоглушителя, каркас, изоляция, дымовая труба, компенсаторы на газоходах. Котел-утилизатор имеет вертикальную компоновку. Дымовая труба опирается на собственный каркас. Поверхность нагрева выполнена в виде законченного блок-модуля и состоит из горизонтально расположенных оребренных труб, объединенных раздающими и собирающими коллекторами. Оребренные трубы опираются и дистанционируются с помощью трубных досок, закрепленных в блок модули. Котел-утилизатор изготавливается газоплотным и рассчитан на работу под наддувом, имеет самоопорную конструкцию. Процессы работы котла-утилизатора автоматизированы. В комплекте с данным котлом-утилизатором используется газотурбинная установка ГТЭ-6. Автоматизированный блочно-комплектный турбоагрегат предназначен предназначен для комбинированной выработки электроэнергии и тепла. Газотурбинная установка экономична, проста по конструкции и надежна в эксплуатации. Газотурбинная установка, изготовленная «Уральским турбинным заводом», рассчитана для работы на природном газе. Газотурбинная установка состоит из: воздушного компрессора, камеры сгорания, двух турбин (высокого и низкого давления). Газотурбинная установка экономична, проста по конструкции и надежна в эксплуатации, оснащена автоматизированной системой управления технологическими процессами. Принципиальная схема когенерационной установки представлена на рисунке.



Принципиальная схема когенерационной установки

Расчет проводился в соответствии с нормативным методом [1, 2]. В таблице приведены результаты расчетов котла-утилизатора в номинальном режиме. КПД котла-утилизатора составляет 84 %.

Результаты расчетов котла-утилизатора в номинальном режиме

Составляющие теплового баланса, кДж/с			
Теплота			
продуктов сгорания на входе в котел $Q_{вх}$	горячей воды $Q_{г.в.}$	на выходе из котла $Q_{вых}$	потерь $Q_{пот}$
11942,8	10012,65	1906	23,88

Также в работе проведен расчет котла-утилизатора в других режимах (70–100 % от номинального). Результаты показывает удовлетворительную работу котла при пониженных нагрузках.

Литература

1. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / коллектив авторов; под ред. Н. В. Кузнецова [и др.]. – М.: ЭКОЛИТ, 2011.

2. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты / А. П. Воинов [и др.]; под ред. Л. Н. Сидельковского. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

УДК 621.867.8

ДОЗИРОВАЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПРИСАДКИ НА ТЭС

ЗИНУРОВ В.Э., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: д-р техн. наук, проф. ДМИТРИЕВ А.В.;
д-р техн. наук, проф. ЗВЕРЕВА Э.Р.

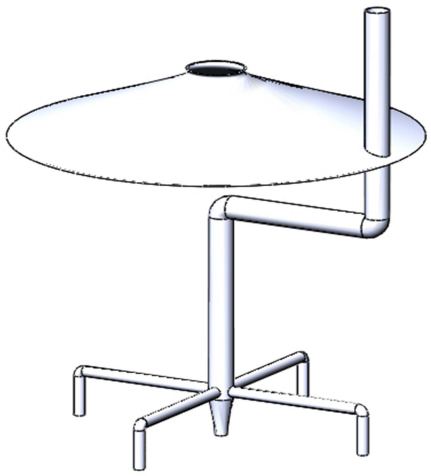
Использование мазута в качестве топлива приводит к загрязнению воздушного бассейна из-за большого выброса токсичных оксидов серы, азота и других вредных частиц. Также в течение производственного процесса происходят химические реакции, в ходе которых образуется серная кислота, являющаяся причиной коррозионных повреждений поверхности воздуховода [1-2].

В настоящее время хорошо себя зарекомендовала присадка к мазуту в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки, позволяющая связывать серу, содержащуюся в топливе в процессе его сгорания, тем самым уменьшая низкотемпературную (сернокислотную) коррозию поверхностей нагрева и выбросы оксидов серы в атмосферу. Данный способ был апробирован в 2016 г. на филиале АО «Татэнерго» Набережночелнинской ТЭЦ. Использование присадки при сжигании мазута позволило уменьшить выбросы оксида серы на 50 % и уловить оксид ванадия.

В ходе испытаний добавления присадки в камеру сгорания на Набережночелнинской ТЭЦ это не всегда удавалось. Процесс доставки присадки в камеру сгорания был следующим: карбонатный шлам из подвозимой к воздуховоду емкости объемом 200 литров транспортировался в воздуховод через воронку, где частицы присадки с воздухом уносились в камеру сгорания. Однако в силу своих свойств карбонатный шлам слипался в воронке, образовывая пробку, что приводило к нестабильной работе, а применение специальных устройств для перемещения материала не представлялось возможным вследствие отсутствия пневмотранспортных устройств для осуществления данного процесса.

Пневмотранспорт является одним из способов механизации и автоматизации перемещения насыпных материалов. Широкое распространение этот вид транспорта получил в середине XX в. Основные сферы применения пневмотранспортных установок: строительная промышленность, сельское хозяйство, легкая промышленность, химическая промышленность, пищевая промышленность, металлургия, энергетика и т. д.

Для решения данной проблемы авторами было разработано устройство для транспортировки мелкодисперсного порошка из подвозимой емкости в воздуховод (рисунок) Проверка эффективности устройства производилась в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследования задавались некоторые постоянные параметры, а именно: массовый расход частиц 50 г/с (0,05 кг/с); начальная скорость частиц 0 м/с; температура воздуха 293,15 К (20 °С). Физико-химические показатели шлама водоподготовки: диаметр частиц d_p = 100 мкм, плотность частиц ρ_p = 4000 кг/м^3. В ходе исследований основными допущениями являлись следующие параметры: концентрация твердого компонента исключает взаимодействие между частицами, влияние частиц на движение несущей среды не учитывается [3].



3D-модель дозировочного устройства

Результаты исследования показали, что использование дозатора позволяет произвести транспортировку присадки в воздуховод. Использование компрессора для нагнетания воздуха в пределах 24–28 м/с является наиболее рациональным решением. Созданное пневмотранспортное устройство позволяет осуществлять транспортирование мелкодисперсного материала в труднодоступных местах, обеспечивая высокую защиту воздуха от попадания в него частиц транспортируемого материала и является экономически рентабельным в использовании.

Литература

1. Зинуров, В. Э. Определение оптимальных конструкционных параметров устройства ввода присадки в воздуховод / В. Э. Зинуров, А. И. Файзуллина, М. Ю. Шалина // Материалы XXIII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». – 2017. – Т. 3. – С. 42.

2. Зверева, Э. Р. Ресурсо-, энергосберегающие технологии в мазутных хозяйствах тепловых электрических станций / Э. Р. Зверева. – Казань: КГЭУ, 2010.

3. Оптимизация конструкционных параметров дозатора в системе пневмотранспорта мелкодисперсных материалов / А. В. Дмитриев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 17. – С. 39–41.

УДК 621.311.22.504

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБЫ БЕНЗ(А)ПИРЕНА ИЗ ГАЗОХОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА МНОГОТОЧЕЧНЫМИ ЗОНДАМИ

ИВАНИЦКИЙ М.С., МЭИ, г. Волжский

Измерения состава уходящих газов, организуемые на тепловых электростанциях (ТЭС), различаются по контролируемым компонентам, времени проведения, применяемому измерительному оборудованию и выполняются специалистами аналитических лабораторий или оперативным персоналом ТЭС, котельных. Поэтому на генерирующих объектах энергетических комплексов предусматривается организация контроля соблюдения предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу [1].

Установление концентраций отдельных компонентов продуктов сгорания осложнено неравномерностью их распределения по сечению газохода вследствие незавершенности процессов окисления, в частности полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), представленных токсичным бенз(а)пиреном (БП).

Для определения сечений, наиболее приемлемых для обеспечения представительных отборов пробы ПАУ многоточечными зондами, выполнено газодинамическое моделирование газового тракта газомазутного котла ТГМ-84 Б в программном комплексе ANSYS FLUENT 17.2. Программный комплекс ANSYS FLUENT 17.2 позволяет осуществлять моделирование газодинамических процессов с получением достоверной сходимости результатов с уровнем невязки по уравнению неразрывности порядка 10^{-3}, по уравнению энергии порядка 10^{-6}. Небаланс по массовым расходам модели соответствует уровню 10^{-4} кг/с, по уравнению полной энергии потока 10^{-4} Дж.

Целью исследования является установление оптимальной температуры газового потока в расчетном сечении газохода, исключающей конденсацию молекул ПАУ в пробоотборных элементах, что непосредственно позволит снизить погрешность аналитических измерений для эффективной организации работы автоматизированных систем контроля и учета выбросов токсичных веществ в атмосферу от котлоагрегатов ТЭС.

Извлечение ПАУ из фильтрующих элементов и перевод их в раствор на этапе подготовки пробы осуществляется экстрагированием или ультразвуковым облучением, что характеризует длительность экстракции до 1 часа. Методы спектрального или хроматографического анализа используются Эна заключительном этапе количественного определения концентрации ПАУ в дымовых газах. Для обеспечения сохранности и представительности пробы на практике используются обогреваемые линии транспортировки пробы, подогрев которых осуществляется посредством применения нагревательных элементов, питаемых током переменного напряжения. Вследствие этого температура пробы должна находиться в заданном диапазоне температуры 393–433 К, что позволяет избежать конденсацию водяных паров и компонентов пробы. Приведенные обстоятельства приводят к изменению количественного состава газовой пробы и обуславливают дополнительную погрешность аналитического определения токсичных веществ, в том числе ПАУ.

Выбор оптимального температурного диапазона газовой смеси, при котором осуществляется химический анализ, позволит снизить влияние температурного фактора на конверсионные процессы компонентов дымовых газов.

Газодинамическое моделирование потока продуктов сгорания в газоходе энергетического котла ТГМ-84Б в диапазоне нагрузки от 40 до 100 % показало принципиальную возможность осуществления отбора пробы уходящих газов для повышения точности количественного анализа БП с помощью многоточечных зондов.

Оптимальным местом для установки пробоотборных многоточечных зондов является сечение газохода котла на расстоянии не менее $(0,5 \div 1)D_{\text{экв}}$ до выхода уходящих газов в ствол дымовой трубы (вниз по потоку), но не более, чем на расстоянии $(2,0 \div 2,5)D_{\text{экв}}$ вверх по потоку.

Полученные результаты численного моделирования температурных параметров газового потока могут применяться для совершенствования методики отбора проб БП многоточечными зондами на этапах внедрения автоматизированных систем непрерывного контроля и оценки конверсионных процессов в газовоздушном тракте котельной установки ТЭС.

Литература

1. Росляков, П. В. Система непрерывного мониторинга и контроля вредных выбросов ТЭС в атмосферу / П. В. Росляков, И. Л. Ионкин, Л. Е. Егорова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 158 с.

УДК 621.438

ИССЛЕДОВАНИЕ ГТУ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА С ЦЕЛЬЮ РАЗВИТИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПЕРЕДВИЖНЫХ КОМПЛЕКСАХ

КОМАРОВ М.В., КОМАРОВА Е.А., ТУВАКИНА З.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ТИТОВ А.В.

Важную роль в жизнедеятельности человека играет вода. В среднем в сутки в зависимости от климата среднестатистический человек в возрасте от 20 до 40 лет потребляет от 1,5 до 3 литров воды, не считая объема, необходимого для приготовления пищи, а также соблюдения гигиены [1].

Согласно доклада ООН, представленного СМИ, «рост потребления пресной воды, вызванный увеличением численности населения и его миграцией, а также последствиями изменений климата, ведет к растущей

нехватке водных ресурсов», что в итоге приведет к перенаселению части районов земли и неиспользованности в силу труднодоступности воды покинутых районов.

Также следует отметить и то, что зачастую имеющаяся пресная вода, доступная человеку, не всегда пригодна для использования в силу ряда обстоятельств, например, при чрезвычайных природных ситуациях в силу ее значительного загрязнения породами [2], а также в период конфликтов, когда существует опасность загрязнения воды химическими веществами.

Согласно представляемым данным географического факультета МГУ ежегодно с поверхности земли происходит испарение порядка 577 т. км^3. воды, которая после выпадает в виде осадков.

За всю историю люди придумывали различные способы получения пригодной для питья пресной воды из имеющихся источников. Как правило, это сводилось к созданию опреснителей, принцип работы которых строился на испарении. Так, например, на судах ВМФ США применяются установки холодного кипячения, в которых создается вакуум, что приводит к снижению температуры кипения воды, а значит ускорению процесса ее испарения, снижению износа деталей установи и снижению себестоимости одного литра воды.

Также известны перуанские ловцы тумана, которые, применяя специальные сети [3], собирают на них содержащуюся в воздухе влагу и в дальнейшем используют ее.

При современном уровне развития газотурбинных двигателей (далее ГТД) их достаточно продолжительной истории применения, уровне производительности и относительно небольших размерах было бы не разумным не обратить на них внимание.

На сегодняшней день имеется достаточно большое количество ГТД, ранее применявшихся на летательных аппаратах, прошедших конверсию и готовых к использованию в других целях, так, например, в процессе перекачивания газа.

Согласно опубликованным данным метеорологических служб разных стран [4], в зависимости от места нахождения региона, времени суток, температуры, давления атмосферы средняя влажность колеблется от 8–26 г/кг воздуха.

При температуре t = 20 ºС и стандартном внешнем давлении 0,1 МПа для полного насыщения необходимо порядка 14,6 г/кг воды [5].

При давлении 0,2 МПа достаточно 5,3 г/кг, а при 0,04 МПа для достижения полного насыщения уже будет необходимо 36,9 г/кг. При температуре, близкой к 0 ºС, эти величины сближаются и лежат в диапазоне 2–10 г/кг.

Если взять в качестве примера один из распространенных двигателей, такой как НК-16 производства ОАО «КМПО», то согласно техническим характеристикам данный двигатель расходует 5760 килограмм воздуха в секунду, что при использовании различного рода агрегатов для получения воды из воздушного бассейна по самым минимальным подсчетам может дать порядка 2764,8 литров воды в час при относительной влажности воздуха от 8–10 г/кг [6]. С повышением влажности воздуха в зависимости от времени суток, температуры, атмосферного давления и применяемого агрегата для получения воды из воздушного бассейна этот показатель может возрасти до 25 тонн в час, а учитывая размер силовой установки, например, НК-16 и возможных к применению на ее базе агрегатов, для получения воды из воздушного бассейна в пределах 6500 мм и массой до 8 тонн все это позволяет сделать такой комплекс мобильным.

Не следует забывать и то обстоятельство, что получаемая в результате работы такой установки вода является достаточно чистой и требует незначительно очистки и минерализации, что позволит сократить расходы на ее производство.

В заключение отметим, что подобные аппараты могут быть в первую очередь интересны для использования в войсковых подразделениях на марше и при проведении различных антитеррористических операций, когда весьма возможно отравление природных источников. По данным Пентагона вода составляет 40 % грузопотока, идущего на снабжение войск США в Ираке.

Вторым направлением использования подобных аппаратов в случае комплектации их солнечными преобразователями является сельское хозяйство. Ирригационные системы в жарких, засушливых регионах, работающие на солнечной энергии и атмосферной воде, могли бы ввести в сельскохозяйственный оборот огромные площади, которые в настоящее не используются из-за неблагоприятных климатических условий.

Вода – это стратегическое сырье и вопрос выживания.

Литература

1. Алексеев, В. В. Получение пресной воды из влажного воздуха / В. В. Алексеев, К. В. Чекарев // Аридные экосистемы. – 1996. – Т. 2. – № 2–3.

2. Прохоров, В. И. Системы кондиционирования воздуха с воздушными холодильными машинами / В. И. Прохоров. – М.: Стройиздат, 1980.

3. Рабинович, О. М. Сборник задач по технической термодинамике / О. М. Рабинович. – М.: Машиностроение, 1973.

4. Ривкин, С. Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара / С. Л. Ривкин, А. А. Александров. – М., 1975.

5. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. – М.: Высш. шк., 1975.

6. Бэр, Г. Д. Техническая термодинамика / Г. Д. Бэр. – М.: Мир, 1977.

УДК 621.321

ОПЫТ УТИЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК КОТЛОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

ЛЕБЕДЕВА Ю.В., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЕРЕМИНА Н.А.

Образование отложений накипи и шлама в пароводяном тракте котла при его эксплуатации – неизбежный процесс даже при очень качественном ведении водно-химического режима (ВХР). Для предотвращения износа и разрушения труб поверхностей нагрева котла (ТПНК) предусматривается мероприятие по очистке котла от этих отложений – эксплуатационная очистка внутренних поверхностей нагрева. Своевременно и качественно выполненная эксплуатационная очистка способствует также уменьшению выноса в проточную часть турбины «пылевых» частиц отложений, отслаивающихся при резких изменениях теплогидравлического режима котла [2].

Скорость образования отложений на внутренних поверхностях теплообменных труб в процессе эксплуатации зависит от вида сжигаемого топлива и конструкционных особенностей котла, обуславливающих тепловые нагрузки, и от его ВХР [2]. На количество и состав эксплуатационных отложений существенное влияние оказывает количество пусков и остановок котла, эффективность проводимых во время остановок мероприятий по его консервации.

Эксплуатационная очистка котла может быть осуществлена механическим способом, с помощью химической или пароводокислородной промывки.

На ТЭС традиционно применяют химическую очистку котлов. Химические очистки подразделяются на предпусковые (удаление прокатной окалины и соединений кремниевой кислоты, появляющейся при использовании песка для гиба труб при монтаже, а также продуктов коррозии, которые накапливаются в период монтажа) и эксплуатационные [3]. Химическая очистка включает в себя следующие этапы: водную отмывку; непосредственно химическую очистку; нейтрализацию и пассивацию поверхностей.

Для того чтобы химическая очистка была эффективна, необходимо правильно подобрать химический реагент (комбинацию реагентов) для ее реализации. С этой целью следует знать состав и количество образовавшихся отложений. Подбор реагентов и технологии очистки должен способствовать отсутствию необходимости обеспечения значительных избытков реагентов в моющем растворе; хорошему состоянию отмытой поверхности, в частности, отсутствию скоплений шлама, предупреждающему их повторное осаждение в ТПНК, быстрому выходу очищенного котла на нормируемые показатели качества питательной и котловой вод, пара в начальный период его эксплуатации [3]. К числу химических реагентов, применяемых для проведения химических очисток, относят ингибированную соляную кислоту, различные органические кислоты и комплексоны, композиции комплексонов с органическими кислотами, перекись водорода, полиамины (хеламин и т.д.) и др.

При химической очистке котла образуются сточные воды, которые представляют «залповые» сбросы с большим разнообразием содержащихся в них веществ [1]. Количество этих сбросов определяется мощностью промываемого оборудования, объемом промывочного контура и, в меньшей степени, применяемой технологией [4]. Состав промывочных вод зависит от вида очистки (предпусковая, эксплуатационная) и от использованных реагентов при химической очистке. Однако в любых условиях концентрации отдельных веществ в промывочных водах превышают предельные допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воде водоемов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования.

В состав отмывочных вод предпусковых очисток входят, в основном, соединения железа; при эксплуатационных очистках кроме соединений железа присутствуют соединения меди и цинка. В промывочных растворах присутствуют также вещества, с помощью которых соединения этих металлов удалялись из отложений. В отмывочных растворах могут быть и другие соединения, добавляемые для увеличения эффективности очистки, например, фториды для удаления силикатных отложений [4].

Очистка этих сточных вод, как правило, состоит из следующих этапов: 1) нейтрализация раствора и выделение из него токсичных веществ; 2) последующая очистка раствора от органических веществ.

После такой очистки промывочные воды могут быть сброшены в канализацию для совместной доочистки или, если не превышены ПДК, непосредственно в водоемы через сбросной канал охлаждающей воды конденсаторов или через промливневую канализацию.

Ниже приведены примеры обработки сточных вод после химических очисток котлов на ТЭС:

1) Предпусковая водно-химическая очистка котла ЭМА-028-КУ «Ново-Салаватской ТЭЦ» щелочным раствором хеламина марки BRW 150Нх. Сброс хеламинного раствора после очистки произведен в бак грязного конденсата (БГК), где происходило его отстаивание, разбавление до безопасной концентрации и охлаждение до безопасной температуры. Опорожнение БГК произведено в промливневую канализацию (ПЛК).

2) Предпусковая водно-химическая очистка котла КСТ-90 УСТК-2 ОАО «Северсталь» с использованием каустической соды и тринатрийфосфата. Дренирование отработанного щелочного раствора выполнено в систему промышленной канализации для его обезвреживания. Для охлаждения сливаемых из КУ растворов и воды было проведено их разбавление технической водой.

3) Эксплуатационная химическая очистка котла ТГМП-1202 Костромской ГРЭС этилендиаминтетрауксусной кислотой. Сброс промывочного раствора после очистки осуществлен в бак-нейтрализатор. Раствор после стадии нейтрализации-пассивации вытеснен в бассейн-нейтрализатор. В течение одного месяца большая часть раствора из бассейна-нейтрализатора была сожжена в топках котлов ГРЭС.

Таким образом, для очистки сточных вод после химических очисток на практике применяют разделение и сбор отмывочных вод с невысокой загрязненностью, их разбавление и сброс в ПЛК. Для сточных вод после этапов непосредственной очистки используют стадии химической нейтрализации, с последующим разбавлением и сбросом в ПЛК, либо огневое обезвреживание в топках котлов. Целью дальнейших исследований является изучение технологий обработки сточных вод после химических очисток котлоагрегатов ТЭС Российской Федерации, а также зарубежных ТЭС.

Литература

1. Жабо, В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС: учебник для техникумов / В. В. Жабо. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240с.

2. Зайцева, Е. В. Выбор технологии эксплуатационной очистки внутренних поверхностей котла / Е. В. Зайцева, И. А. Шатова // Состояние и перспективы развития энерготехнологии: матер. Междунар. науч.-технич. конф. «XVIII Бенардосовские чтения». – Иваново, 2015. – С. 99–102.

3. Маргулова, Т. Х. Водные режимы тепловых и атомных электростанций / Т. Х. Маргулова, О. И. Мартынова. – М.: Высш. шк., 1987. – 319 с.

4. Химические очистки теплоэнергетического оборудования / под общ. ред. Т. Х. Маргуловой. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

УДК 665.6

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ В КОМПЛЕКС С ПАРЦИАЛЬНЫМ ОКИСЛЕНИЕМ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

МРАКИН А.Н., СОТНИКОВ Д.Г., СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Основным элементом энергохимической установки с парциальным окислением (газификацией) углеводородного сырья, представленной в [3], является энергосиловой агрегат на базе газотурбинной технологии. В этой связи представляется целесообразным выполнить ее термодинамический расчет, поскольку он будет формировать не только стоимостные характеристики самой ГТУ, но и оказывать влияние на схемно-параметрические решения дальнейшей подготовки синтез-газа и в конечном итоге на себестоимость процесса его получения.

Для определения параметров продуктов реакции используется методический подход, изложенный в [3], в основу которого положены уравнения материального баланса по химическим элементам, закон Дальтона и закон действующих масс. В результате можно получить достаточные сведения по составу, расходу и температуре продуктов парциального окисления углеводородного сырья.

В качестве исходного углеводородного сырья в данной работе рассмотрен нестабильный газовый конденсат, который по различным причинам не может быть использован, и возникают парадоксальные ситуации, когда ценное химическое сырье со стоимостью до 21 тыс. руб./т сжигается на факелах или утилизируется с аварийной продувкой.

Расчетами, основанными на эксергетической методологии, показано, что использование обогащенного кислородом дутья снижает КПД процесса, таким образом в дальнейших расчетах принято содержание кислорода в дутье на уровне 21 об. % [4].

Исходные данные для расчетов приняты следующими: топливо – нестабильный газовый конденсат Коптевского месторождения с расходом В = 1 кг/с; коэффициент расхода воздуха α = 0,5; степень повышения давления в компрессоре $\pi_к$ = 15; температура дутьевого пара 205 °С; $э_{сн}$ = 1,5 %; $t_{нв}$ = +15 °С; $\eta_к$ = 88 %; $\eta_т$ = 80 %. Результаты расчетов с применением [1] при переменном значении удельного (приходящегося на единицу топлива) расхода водяного пара $g_п$ представлены в таблице, для сравнения там же при $g_п$ = 0 кг/кг представлены результаты расчета для Уренгойского месторождения природного газа с составом, об. %:

$$CH_4 = 98{,}4;\ C_2H_6 = 0{,}1;\ CO_2 = 0{,}3;\ N_2 = 1{,}2.$$

Ряд специалистов высказывают сомнения о работоспособности газовой турбины ввиду наличия значительного содержания водорода и низкой плотности продуктов реакции перед газовой турбиной. В этой связи хочется отметить, что при снижении плотности продуктов парциального окисления на 35–40 % по сравнению с плотностью продуктов сгорания природного газа имеется положительный опыт работы на таких газовых смесях в доменном производстве (газовая утилизационная бескомпрессорная турбина) [5].

Тепловую экономичность газотурбинной части энергохимической установки необходимо оценивать с учетом не полного тепловыделения в камере сгорания по выражению

$$\eta = \frac{N}{BQ_н^p - Q_{сг}},$$

где N – электрическая мощность электрогенератора ГТУ, кВт; $Q_н^p$ – низшая теплота сгорания рабочей массы, перерабатываемого углеводородного сырья, кДж/кг; $Q_{сг}$ – химическая теплота синтез-газа, покидающего ГТУ, кВт.

Результаты термодинамического расчета

Показатель, ед. изм.	Вариант технологического оформления			
	$g_п$=0 кг/кг	$g_п$=3 кг/кг	$g_п$=6 кг/кг	природный газ
Расход продуктов реакции из РЧО, нм^3/с	8,00	11,73	15,46	8,70
Состав продуктов реакции, об. %:				
– N_2	57,7	39,3	29,8	53,2
– H_2O	8,8	33,0	47,0	10,4
– CO_2	2,7	6,7	7,3	2,2
– CO	16,6	6,4	2,7	13,5
– H_2	14,2	14,6	13,2	20,7
Характеристический комплекс, моль H_2/моль CO	0,855	2,281	4,888	1,538
Функционал $f = (H_2\text{-}CO_2)/(CO+CO_2)$	0,596	0,603	0,590	1,186
Температура перед газовой турбиной, °С	1538	1117	908	1347
Температура продуктов реакции после газовой турбины, °С	1217 / 861	881 / 614	708 / 481	1055 / 732
Электрическая мощность установки, МВт	1,298 / 5,769	1,845 / 6,973	2,407 / 8,152	0,886 / 5,197
Электрический КПД, %	8,21 / 36,51	10,95 / 41,38	13,77 / 46,65	6,19 / 36,31
Удельный расход условного топлива, г/кВт·ч	1518 / 341	1138 / 301	905 / 267	2014 / 343
Тепловая мощность утилизатора при $t_{ух}$=120 °С, МВт	13,04 / 8,56	13,91 / 8,74	17,54 / 8,53	11,91 / 7,59
Потребность тепловой энергии для генерации пара, МВт	0	8,4	16,8	0
Баланс тепловой энергии, МВт	13,04 / 8,56	5,51 / 0,34	0,74 / -8,27	11,91 / 7,59

Примечание. В числителе указаны значения при $\pi_т = 3$, в знаменателе – при $\pi_т = 15$.

Таким образом, из анализа данных, представленных в таблице можно видеть, что ни один из рассмотренных вариантов не обеспечивает требуемых значений характеристического комплекса и функционала f для использования газа с целью синтеза спиртов, поэтому технологической схемой энергохимической установки предусмотрена система абсорбционной очистки от CO_2, а степень расширения в турбине принимается исходя из уровня давления в реакторах синтеза, т.е. в данном примере $\pi_т = 3$.

Также можно заключить, что по уровню начальной температуры перед газовой турбиной энергохимической установки при $g_п$=0 и любом исходном топливе ГТУ может быть отнесена к 5-му поколению [6] со стоимостью в зависимости от уровня электрической мощности на уровне 444–2152 тыс. долл. США. Варианты же с подачей водяного пара – к 3-му и даже 2-му поколению [6] со стоимостью 460-1840 тыс. долл. США.

Значения КПД и удельного расхода топлива для рассмотренных вариантов организации процесса парциального окисления сопоставимы с результатами исследований других авторов, например [2, 6]. Причем при столь высокой температуре продуктов реакции после газовой турбины (708-1217 ^{o}C) возможно организовать либо схему ПГУ бинарного цикла, либо ПГУ-STIG с выработкой дополнительной электроэнергии.

Тепловой баланс утилизационного контура практически во всех вариантах позволяет не только получать пар в достаточном количестве для подачи в реактор частичного окисления, но и осуществить отпуск избыточного количества для энергоснабжения сторонних потребителей.

Литература

1. Стационарные газотурбинные установки / Л. В. Арсеньев [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1989. – 543 с.

2. Модернизация существующих паротурбинных установок путем газотурбинных надстроек с частичным окислением природного газа / В. М. Масленников [и др.] // Теплоэнергетика. – 2000. – № 3. – С. 39–46.

3. Имитационное моделирование работы реактора частичного окисления энергохимической установки / А. Н. Мракин [и др.] // Динамика систем, механизмов и машин. – 2017. – Т. 5. – № 2. – С. 83–90.

4. Мракин, А. Н. Термодинамическое обоснование параметров дутья энергохимических установок с газификацией топлива / А. Н. Мракин, Д. Г. Сотников, Р. Б. Табакаев // Интеллектуальные энергосистемы: труды V Междунар. молодежного форума. В 3 т. Т. 1. – Томск: Томский политехнический университет, 2017. – С. 203-207.

5. Сазонов, Б. В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы / Б. В. Сазонов, В. И. Ситас. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 275 с.

6. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 584 с.

УДК 621.165

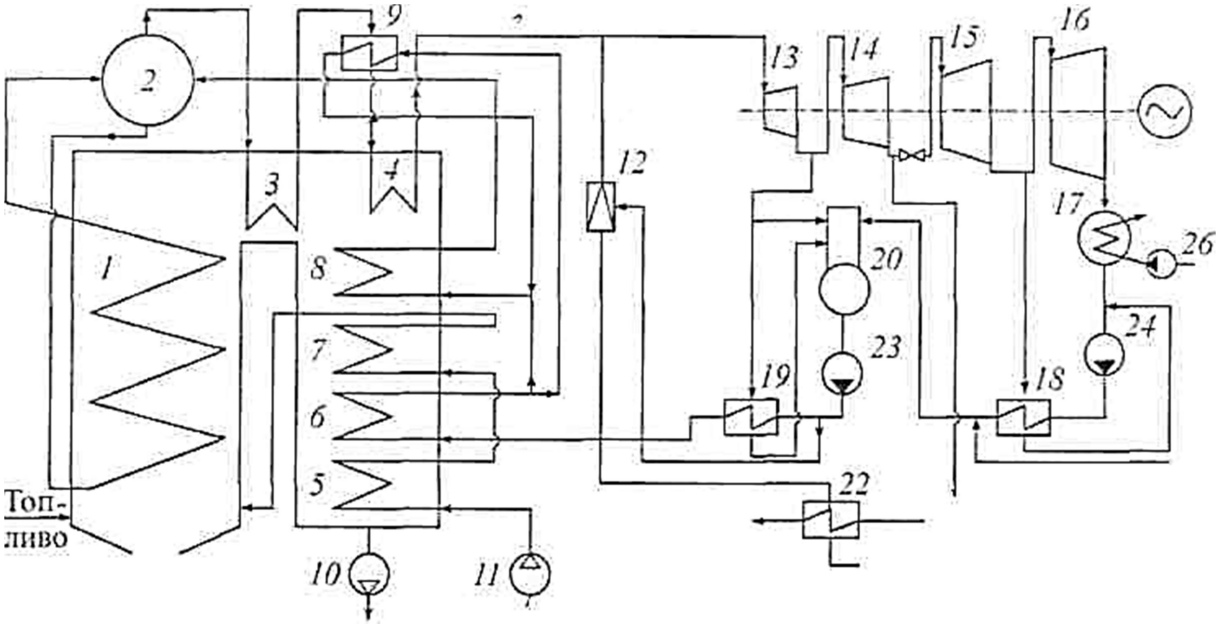
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРОТУРБИННЫХ МИНИ-ТЭС, РАБОТАЮЩИХ НА УГЛЕ

НГУЕН ДЫК ТОАН, ФАМ ДАНГ НЯТ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

В связи с тем, что износ основных фондов в централизованной теплой энергетике достигает 70 %, а их модернизация может затянуться на десятилетия, многие промышленные и коммунальные потребители задумываются о создании собственных автономных источников электро- и теплоснабжения. Объектами малой распределенной энергетика (мини-ТЭС и мини-ТЭЦ) принято считать когенерационные установки мощностью до 25 МВт, обеспечивающие тепловой и электрической энергией одного или нескольких потребителей. В российской и мировой энергетике существуют различные по аппаратурному оформлению мини-ТЭС. В качестве основного генерирующего оборудования могут использоваться газотурбинные и паротурбинные установки, дизель-генераторы. Для более оперативного создания данных объектов необходимо учитывать номенклатуру оборудования, которое в настоящее время серийно выпускается российскими производителями.

Традиционной и наиболее распространенной схемой производства энергии для российской энергетики является схема с паротурбинной установкой, включающей паровой котел и паровую турбину. В основном по такому принципу строились крупные энергоблоки мощностью несколько сотен МВт. Однако производимое оборудование позволяет реализовывать данные схемы и для мини-ТЭС. Технологическая схема паротурбинной мини-ТЭС, работающей на угле, представлена на рисунке [1]. Она включает в себя барабанный парогенератор, паровую турбину и установку подготовки сетевой воды. Уголь измельчается в мельнице до пылевидного состояния и подсушивается. В качестве сушильного агента используется воздух, который затем подается в горелки котла. В зависимости от необходимой электрической мощности паротурбинная установка комплектуется паровым котлом и паровой турбиной. Требуемый расход и качество пылевидного угольного топлива обеспечивается подбором соответствующей мельницы. В данной работе выбирались шаровые барабанные (ШБМ) или молотковые (ММТ) мельницы.



Технологическая схема паротурбинной мини-ТЭС: *1* – топка, *2* – барабан котла; *3*, *4* – две ступени пароперегревателя; *5*, *7* – две ступени воздухоподогревателя; *8* – две ступени водяного экономайзера; *9* – охладитель пара; *10* – дымосос; *11* – дутьевой вентилятор; *12* – РОУ; *13–16* – отсеки турбины; *17* – конденсатор турбины; *8* – ПНД; *19* – ПВД; *20* – деаэратор; *21* – сетевой подогреватель; *22* – пиковый подогреватель; *23* – питательный насос; *24*, *25* – конденсатные насосы; *26* – циркуляционный насос, *27* – сетевой насос

Подбор оборудования осуществлялся на основе расчета по известным методикам расчета и проектирования систем подготовки топлива, котельных установок и паровых турбин [2, 3], марки выбранных котлов, паровых турбин и мельниц представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основное оборудование для паротурбинной мини-ТЭС

№	Электрическая мощность мини-ТЭС, МВт	Марка котла	Марка паровой турбины	Марка углеразмольной мельницы
1	6	КЕ 25-14-225С	П-6-1.2/0.5	ММТ 1000/710/980
2	11,4	Е 65-3.9-440 КТ	К 11-1 (КТЗ)	ШБМ 220/330
3	12	КЕ 65-3.9-440 КТ	К 12-4.2	ММТ 1300/2300/735
4	20	Е 75-3.9-440 КТ	ПТГ-20	ШБМ 250/390
5	25	Е 90-3.9-440 КТ	ПГТ-30	ММТ 1300/2030/735

В качестве показателей эффективности рассмотрен эксергетический КПД и удельный расход угля, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели эффективности мини-ТЭС

№	Электрическая мощность мини-ТЭС, МВт	Расход угля, кг/с	Эксергетический КПД, %	Удельный расход угля, г/МДж
1	6	0,757	33,6	126
2	11,4	2,25	21,3	197
3	12	2,246	22,4	187
4	20	2,6	32,3	130
5	25	3,112	33,7	124

Наилучшими показателями обладает мини-ТЭС мощностью 25 МВт, для объектов меньшей мощности необходимо применение дополнительных мероприятий для повышения эффективности.

Литература

1. Клер, А. М. Оптимизация паротурбинного энергоблока угольной мини-ТЭЦ с учетом переменных графиков тепловых и электрических нагрузок / А. М. Клер, А. Ю. Маринченко, С. Н. Сушко // Теплофизика и аэромеханика. – 2006. – № 2. – С. 303–314.

2. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов. – М.-Л.: ЦКТИ, 1971.

3. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / коллектив авторов; под ред. Н. В. Кузнецова [и др.]. – М.: ЭКОЛИТ, 2011.

УДК 662.742

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ С ОТВОДОМ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

ПЯТЫГИНА М.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

В настоящее время особое внимание уделяется повышению эффективности производственных процессов, в том числе и связанных с переработкой топлив. При этом появляется возможность не только снизить затраты на единицу производимой продукции, но и значительно улучшить экологические показатели. Проведение анализа технологической схемы позволяет учесть затраты электроэнергии и теплоты на процесс переработки твердого топлива, начиная с процесса подготовки и заканчивая получением энергетического газа для сжигания в ГТУ. Содержащиеся в топливе сера

и азот существенно ограничивают его переработку, так как не предусмотрена очистка от сернистых соединений и использование выделяющихся побочных продуктов как в качестве реагентов в самой схеме, так и в других производствах. Исследования физико-химических процессов разложения органической массы угля (ОМУ) позволило разработать технологическую схему комплексной термической переработки твердого топлива с последовательным отводом продуктов разделения [1].

Для более эффективного использования компонентов, входящих в состав органической массы твердого топлива, схема включает:

– измельчение топлива с одновременной сушкой до пылевидного состояния;

– пиролиз в псевдоожиженном слое твердым теплоносителем с получением парогазовой смеси (ПГС) и полукокса;

– ступенчатое разделение ПГС с выделением на первой стадии продуктов, не подвергающихся дальнейшему разложению, на второй – продуктов, образующих каменноугольное масло, на третьей – легкой фракции смолы (товарного продукта на производство феноло-альдегидных смол, полиамидов, полиарилатов и т.д.);

– очистку полученного газа от сероводорода, аммиака и сырого бензола (основной компонент бензол) – сырья для химического производства, в лакокрасочном производстве как растворителя или компонента моторного топлива для повышения октанового числа и т.д.;

– получение из части полукокса активированного угля (сорбента);

– парокислородную газификацию части полукокса;

– сжигание полученной смеси коксового и генераторного газа в камере сгорания ГТУ с утилизацией теплоты продуктов сгорания в котле-утилизаторе и получением пара, используемого при газификации полукокса.

Такая технологическая схема позволяет перерабатывать торф, каменные и бурые угли.

В работе был проведен анализ разделения продуктов пиролиза Ирша-Бородинского бурого угля [2].

На стадиях разделения состав парогазовой смеси следующий: на выходе из конденсатора первой ступени ди- и трифенилметан, пирен, дифенил, фенантрен, хризен, вода; из конденсатора второй ступени нафталин, гидроксинафталин, вода; из газосборника фенол, этилбензол, вода; сепаратора бензол. Конденсированные продукты с некоторым количеством воды

поступают в два отстойника. В первом выделяют смольные продукты бензол и этилбензол, а также фусы (пирен), во втором надсмольную воду и смолу в составе: ди- и трифенилметан, фенол, дифенил, фенантрен, хризен.

Благодаря последовательному отводу промежуточные продукты можно использовать в качестве синтетического жидкого топлива, снизить содержащуюся в них серу в парогазовой смеси, сама парогазовая смесь обладает достаточно высокой теплотворной способностью, что позволяет повысить количество вырабатываемой тепловой и электрической энергии.

Соединения, оседающие в отстойниках, могут представлять ценность для органического синтеза. Эффективность такого процесса термической переработки топлива с отводом промежуточных продуктов представлена в таблице и определяется как отношение теплоты парогазовой смеси к сумме теплоты топлива и теплоты, затрачиваемой на подогрев.

Эффективность процесса пиролиза

	Степень отвода, %									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Суммарная теплота угля $Q_у$, Дж/с × 10^3	151,8	148,1	142,3	140,5	136,7	132,9	129,2	125,4	121,6	117,8
$G_{ПГС}$, кг/с ×10^{-2}	3,64	3,55	3,46	3,36	3,27	3,18	3,09	2,99	2,90	2,81
ω $_{ПГС}$, %	58	56	55	53	52	50	49	48	46	45
$Q_{ПГС}$, Дж/с ×10^3	35,25	35,95	36,68	37,34	38,05	38,75	39,45	40,12	40,82	41,51
Эффективность пиролиза, %	23,2	24,3	25,8	26,6	27,8	29,1	30,5	32,0	33,6	35,2

Таким образом, эффективность последовательного отведения продуктов пиролиза обусловлена следующими факторами: снижение количества теплоты, необходимой для нагрева топлива; очистка парогазовой смеси за счет максимального выделения парообразной смолы до газосборника с помощью конденсаторов; снижение степени загрязнения нафталином оборудования; снижение затрат воды на охлаждение парогазовой смеси.

Литература

1. Пат. № 2464294 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ C10B 49/22, C10J 3/64, B01D 53/52, B01D 53/58, B01D 53/72. Способ комплексной термохимической переработки твердого топлива с последовательным отводом продуктов разделения / Пятыгина М. В., Мингалеева Г. Р.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский научный центр Российской академии наук (КазНЦ РАН). – № 2010145366/04; заявл. 08.11.2010; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29.

2. Пятыгина, М. В. Повышение эффективности процесса термической переработки твердого топлива: дис. … канд. техн. наук: 05.14.04 / Пятыгина Мария Валерьевна. – Казань, 2013. – 234 с.

УДК 536.3

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ В КОТЛАХ ТЭС МАЗУТА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ

ТАЙМАРОВ М.А., САЛТАНАЕВА Е.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ТАЙМАРОВ М.А.

На ТЭС существует проблема эффективного сжигания в энергетических котлах мазута с высоким содержанием воды, достигающим до 11 %. Вода попадает в состав мазута при транспортировке и хранении. По регламенту допустимое содержание воды в мазуте не должно превышать 3 %. Сжигание мазута с высоким содержанием воды без использования каких-либо особых технологий и оборудования сопровождается механическим и химическим недожогом, хлопками в топках, отрывом и погасанием факела и вызывает снижение КПД котлов [1, 2].

Для повышения КПД и эксплуатационной надежности энергетических котлов технологические особенности подготовки высокообводненного мазута к сжиганию и его сжигание сводятся к следующему.

1. Повышение температуры подогрева мазута до 130 °С и повышение давления мазута, подаваемого в форсунки. Однако этот способ ограничен техническими возможностями мазутных насосов, которые обычно работают при температуре нагрева кондиционного мазута до 90 °С. При дальнейшем повышении температуры уплотнения насосов начинают нагреваться до аварийного состояния.

2. Повышение температуры воздуха подаваемого на горение за счет включения калориферов подогрева воздуха перед основными воздухоподогревателями. Такой дополнительный подогрев обеспечивает температуру воздуха, подаваемого на горение до 280 °С. Однако при этом возрастает интенсивность образования термических оксидов азота, допустимая концентрация которых даже при сжигании кондиционного мазута достаточно велика и составляет 250 мг/м^3 при приведенном коэффициенте избытка воздуха 1,4. Для сравнения, при сжигании газа допустимая концентрация выбросов оксидов азота равна 125 мг/м^3.

3. Подготовка из высокообводненного мазута с помощью кавитаторов водомазутной эмульсии с добавками поверхностно активных веществ против расслоения и подача мелкодисперсной эмульсии в форсунки. Недостаток этой технологии – значительные удельные энергетические расходы на работу кавитаторов и невозможность длительного хранения водомазутной эмульсии.

4. Совместное сжигание высокообводненного мазута в смеси с природным газом, причем подача газообразного топлива должна осуществляться в горелки верхнего яруса. Недостатком является наличие газообразного топлива и возможность его подачи в горелки верхнего яруса при подаче обводненного мазута в горелки нижнего яруса.

Как видно из выше приведенного анализа, наиболее реализуемой на практике является последняя технология. Однако, как уже отмечено, для работы энергетических котлов требуется наличие газообразного топлива и возможность его подачи в горелки верхнего яруса при соответствующей компоновке горелок в топке. При использовании последней технологии важным является выбор типа форсунок для сжигания обводненного мазута. На практике для энергетических котлов марки ТГМ-84Б достаточно широко используются форсунки паромеханические типа ФУЗ-5000 и механические типа Ильмарине. Эксперименты, проведенные авторами [1, 2], показали, что паромеханические форсунки типа ФУЗ-5000 дают длинный факел и недостаточное дробление капель мазута. При длинном факеле происходит его наброс на задний экран при фронтальном расположении горелок. Недостаточное дробление способствует химическому и механическому недожогу мазута. При использовании форсунок типа Ильмарине, по сравнению с форсунками ФУЗ-5000, происходит некоторое уменьшение размеров капель мазута, подаваемого на горение, но возникают сложности с работой их при значительных расходах мазута из-за малой пропускной способности.

Наиболее перспективной является разработанная технология [3] паромеханического трехступенчатого дробления капель высоко обводненного мазута с регулируемой длиной факела в зависимости от нагрузки котла. Технология испытана с положительным результатом на котле ТГМ-84Б Набережно-Челнинской ТЭЦ при сжигании мазута М100 с содержанием воды 10,4 %.

Литература

1. Исследование режимных параметров работы котлов при сжигании мазута с повышенным содержанием воды / М. А. Таймаров [и др.] // Вестник КГЭУ. – 2017. – № 2(34). – С. 68–75.

2. Особенности сжигания в котлах мазута с высоким содержанием воды / М. А. Таймаров [и др.] // Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем: сб. науч. тр. по итогам 4-й Международной науч.-практич. конф. – Казань, 2017. – С. 37–40.

3. П. м. № 115870 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ F23D 11/10, F23D 11/36. Форсунка / Таймаров М. А., Ахсанов М. М.; патентообладатель ФГБОУ ВПО «КГЭУ». – № 2011141697/06; заявл. 13.10.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

УДК 621.187

ЛАБОРАТОРНАЯ ПРОВЕРКА МОЮЩИХ СВОЙСТВ КИСЛОТНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК ПАРОВЫХ КОТЛОВ

фЕДОРОВА А.Ю., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. БУШУЕВ Е.Н.

При любом качестве котловой воды и наличии внутритрубных отложений шлама неизбежна подшламовая коррозия труб [1, 2], хотя и с разными скоростями, в зависимости от водно-химического и топочного режимов котла. Уплотнившиеся отложения шлама незначительно удаляются при очистках «на ходу» котлов. Для предотвращения повреждений труб требуется эксплуатационная очистка внутренних поверхностей труб испарительных экранов и, в первую очередь, труб солевого отсека, где зачастую обнаруживают бугорчатые уплотнившиеся отложения шлама на огневой стороне труб.

В России при эксплуатационных химических очистках труб этих поверхностей широко используются ингибированная соляная кислота и специализированные моющие кислотные композиции как зарубежного, так и российского производства. В группу кислотных моющих средств, находящих спрос в энергетике России и характеризуемых как эффективные, входят Дескалер и МСК (ЗАО «ГДхемикс», Белоруссия), Auge PRO Ac (ООО «ПК «Махим», Россия, г. Казань), Антиржавин (ООО «Новохим», г. Томск).

Для лабораторного исследования были взяты образцы труб солевого отсека котла высокого давления. Их внутритрубные отложения на огневой стороне труб являются:

– бугорчатыми. Определённая от дна язв высота бугорков достигает 8 – 10 мм;

– равномерными, рыхлыми без бугорков или с плотными бугорками небольшой высоты на тыльной (необогреваемой) стороне труб.

Выполнена лабораторная проверка моющих свойств ряда реагентов, применяемых при эксплуатационных промывках паровых котлов. По результатам проведенных исследований, учитывая характеристику отложений (двухслойные равномерные железооксидные отложения и двухслойные железооксидные отложения с бугорчатыми участками, содержащие медь), можно сделать следующие выводы:

1. Моющий эффект химических реагентов в значительной мере обусловлен диспергированием отложений [3, 4].

2. Скорость очистки труб на начальном и среднем этапах, когда моющему раствору доступны пористые, рыхлые отложения, существенно зависит от текущего значения удельной загрязнённости.

3. На последующем этапе, когда пористый слой удалён и остались плотные отложения, скорость очистки труб практически не зависит от текущего значения удельной загрязнённости и определяется свойствами моющего раствора.

4. В начальный период очистки скорость коррозии «чистой» стали (индикаторов коррозии) во всех проверенных растворах (Дескам, МСК, Auge Pro Ac 55, Auge Pro Ac 60, Антиржавин, соляная кислота) более стандартного значения (0,2 г/(м^2·ч)) и уменьшается в дальнейшем до значения, близкого к стандартному. Скорость коррозии её индикаторов пропорциональна кислотности моющего раствора.

Литература

1. Манькина, Н. Н. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций / Н. Н. Манькина. – М., 1977.

2. Акользин, П. А. Предупреждение коррозии металла паровых котлов / П. А. Акользин. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

3. Химические очистки теплоэнергетического оборудования / под ред. Т. Х. Маргуловой. – М.: Энергия, 1978. – Вып. 2. – 175 с.

4. Федорова, А. Ю. Исследование моющих свойств кислотных реагентов для эксплуатационных химических очисток барабанных паровых котлов / А. Ю. Федорова // Перспективы развития новых технологий в энергетике России: матер. II Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ОАО «ВТИ», 2017. – С. 226–234.

УДК 621.182.44

КОРРЕКЦИОННАЯ ОБРАБОТКА СЕТЕВОЙ ВОДЫ ИНГИБИТОРАМИ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ

ХРАМОВА А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ДРЕМИЧЕВА Е.С.

В настоящее время совершенствование технологии водоподготовки на объектах теплоэнергетики с целью снижения расходов реагентов и воды на собственные нужды, поиск материалов с хорошими технико-экономическими показателями и невысокой стоимостью является весьма актуальной темой.

Процессы накипеобразования и коррозии, являясь результатом некачественной водоподготовки, вызывают основные осложнения работы циклов охлаждения или нагревания. Слой накипи на поверхностях теплоэнергетического оборудования – конденсаторах турбин, бойлеров или водогрейных котлов – это ухудшение процессов теплопередачи, и следовательно, перерасход топлива. Для исключения накипеобразования требуется специальная водоподготовка, с применением фильтрующих материалов, реагентов или мембран. Для подготовки подпиточной воды тепловых сетей широко применяется натрий- катионирование и (или) подкисление с целью снижения карбонатного индекса – величины, регламентируемой ПТЭ.

Эти методы предусматривают потребление соли или кислоты в количествах, эквивалентных жесткости воды, сопровождаются образованием значительного солевых сбросов и трудоемкостью обслуживания водоподготовительных установок. Кроме того, их применение не снижает нормируемых темпов роста отложения и не исключает необходимости проведения периодических очисток оборудования. Поэтому в последнее время находят применение стабилизационные и коррекционные методы обработки воды, заключающиеся в создании в ней нормируемой концентрации особых веществ – ингибиторов накипеобразования, в результате чего не только предотвращается образование отложений, но и происходит

постепенная отмывка оборудования от старых отложений «на ходу». Применение такой обработки не только снижает эксплуатационные затраты, но и позволяет автоматизировать процесс водоподготовки из-за его упрощения.

Ингибиторы коррозии подразделяются:

– по механизму своего действия: катодные, анодные и смешанные;

– по химической природе: неорганические, органические и летучие;

– по сфере своего влияния: в кислой, щелочной и нейтральной среде [1].

Действие ингибиторов коррозии обусловлено изменением состояния поверхности металла вследствие адсорбции ингибитора или образования с катионами металла труднорастворимых соединений. Защитные слои, создаваемые ингибиторами коррозии, всегда тоньше наносимых покрытий. Ингибиторы коррозии могут действовать двумя путями: уменьшать площадь активной поверхности или изменять энергию активации коррозионного процесса [2].

Органические ингибиторы коррозии адсорбируются только на поверхности металла. Продукты коррозии их не адсорбируют. Поэтому эти ингибиторы применяют при кислотном травлении металлов для очистки последних от ржавчины, окалины, накипи. Органическими ингибиторами коррозии чаще всего бывают алифатические и ароматические соединения, имеющие в своем составе атомы азота, серы и кислорода [3].

Ученые доказали, что ежегодно в реки сливаются тонны сточных вод, в которых содержание анионных ПАВ, в состав которых входят фосфонаты, зашкаливает [4]. Попадая в пресную воду, они являются стимулятором для роста водорослей в водоемах. Загрязнение водоемов напрямую зависит от нас. Фосфоновые ингибиторы осуществляют свою работу лучше, чем вышеперечисленные ингибиторы, но их запрещено использовать по причине опасного влияния на окружающую среду [5]. Поэтому в работе проводился подбор оптимального безфосфатного ингибитора солеотложения для перехода на коррекционный режим обработки воды взамен существующего натрий-катионирования.

Литература

1. РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите трубопроводов от коррозии. – М.: ДЕАН, 2002. – 240 с.

2. Мельникова, М. М. Англо-русский словарь по электрохимии и коррозии / М. М. Мельникова, И. П. Смирнов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Русский язык, 1976. – 496 с.

3. Москвин, В. М. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя / В. М. Москвин, Г. С. Рояк. – М.: Госстройиздат, 1988. – 164 с.

4. Неверов, А. С. Коррозия и защита материалов / А. С. Неверов, Д. А. Родченко, М. И. Цырлин. – М.: Высшая школа, 2007. – 224 с.

5. Ингибиторы коррозии / Д. Л. Рахманкулов. – Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 1997. – Т. 1. – 296 с.

УДК 62.641

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МАЗУТА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

ЧУРИЛОВ А.С., МУСТАЕВА Э.Ш., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук.: д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.;
канд. техн. наук МЕЗИКОВ В.К.

В качестве жидкого топлива для котельных и печных установок преимущественное значение имеют мазуты нефтяного происхождения. Мазут обладает повышенной вязкостью и плотностью. Серьезным недостатком этого вида топлива является его температура застывания, которая составляет всего 25–30 °С. Это усложняет задачу его транспортировки и перекачки. Как вязкость, так и температура застывания существенно зависят от термической обработки мазута. Стандартным методом нагрева является подогрев мазута паром. Недостатком этого способа является значительное обводнение высоковязких мазутов, что при сжигании такого топлива приводит к понижению КПД котельных установок и увеличению отложений золы на поверхностях нагрева.

Вязкость – одна из важнейших технических характеристик жидкого топлива, определяющая методы, условия перевозки и перекачки. Кроме того, от вязкости зависят скорость осаждения механических примесей при хранении, подогреве и транспортировке жидкого топлива, а также способность мазута отстаиваться от воды. Высокая температура застывания и высокая вязкость жидких котельных топлив вызывают необходимость постоянного подогрева всех периодически действующих топливопроводов и тщательной изоляции как трубопроводов, так и остальной аппаратуры топливоподачи.

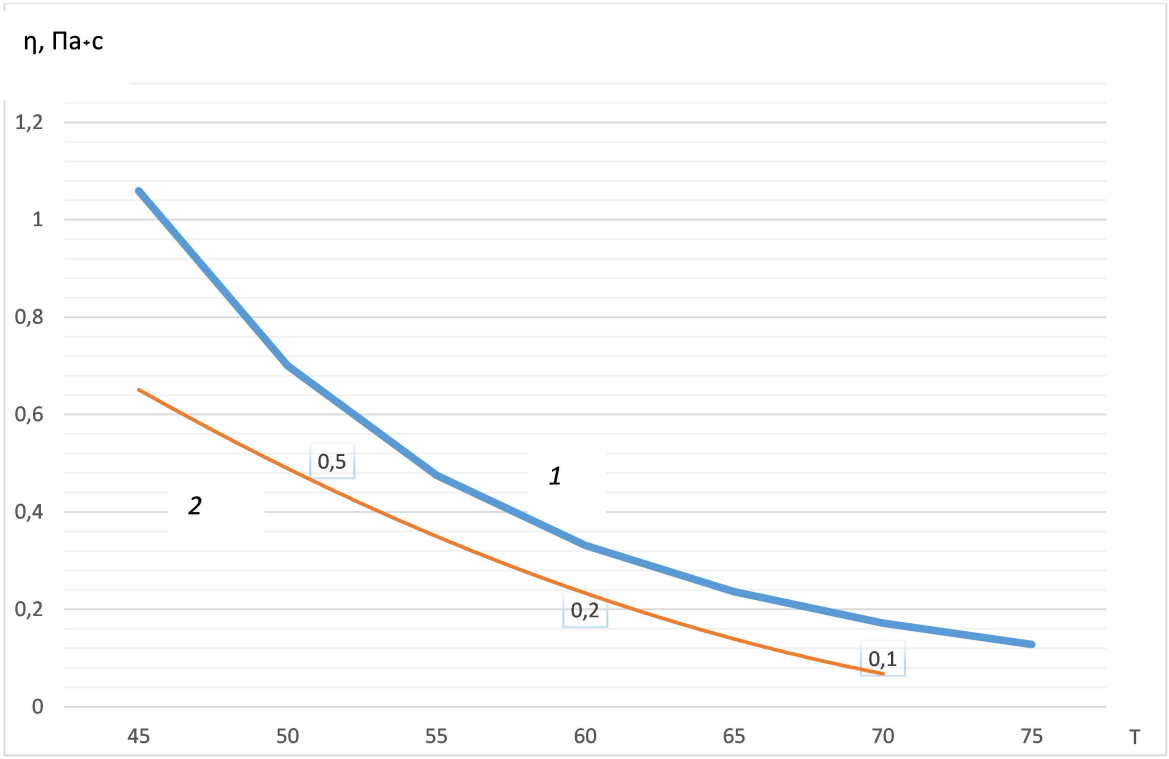
Одним из существенных факторов, который влияет на вязкость мазута, является температура. Эту зависимость можно показать с помощью расчетных формул. Необходимую динамическую вязкость можно найти с помощью кинематической вязкости и плотности мазута. Для определения кинематической вязкости используется формула Вальтера [1]:

$$\lg\lg(\nu \cdot 10^6 + 0{,}8) = a + b\lg T .$$

Для мазута марки М100 данная формула имеет вид [1]:

$$\nu_м = \left[\exp_{10}(\exp_{10}\left[9{,}855 - 3{,}745\lg(t + 273)\right]) - 0{,}8\right] \cdot 10^{-6} .$$

С помощью результатов расчёта теоретической зависимости (кривая *1*) для мазута марки М100 в диапазоне температур от 45 до 75 °С проведен сравнительный анализ с полученной практической зависимостью (кривая *2*) мазута от температуры. Стоит отметить, что положительный эффект ультразвуковой обработки наблюдается лишь при больших скоростях сдвига. В данной работе анализ вязкости производится при диапазоне скорости сдвига от 35,3 до 212 $с^{-1}$.



Зависимость динамической вязкости от температуры: *1* – расчетная зависимость; *2* – экспериментальные данные при разогреве мазута при помощи ультразвукового реактора

Вязкость существенно зависит от термической обработки мазута. В данной работе рассматривается способ нагрева и уменьшения вязкости мазута при помощи ультразвука. Эксперименты проводились с использованием ультразвукового генератора УЗГМ-5 22. Это устройство предназначено для преобразования электрической энергии 50 Гц в электрическую энергию ультразвуковой частоты. В том числе аппарат используют для диспергирования, приготовления эмульсий и других технологических процессов.

При большой мощности происходит не только переход энергии ультразвука в тепловую (нагрев топлива), а также кавитационные процессы, что может привести к разрыву связей в молекулах, то есть изменение химического состава нефтепродуктов. Это объясняется тем, что разрушить образовавшуюся структурную сетку частиц можно путем возбуждения в среде упругих колебаний, ультразвуковые колебания являются таковыми. При взаимодействии акустического поля с фазами пород основное влияние оказывают: акустическая дегазация, разрушение конгломератов, вовлечение в разработку низкопроницаемых и закольматированных пропластков пород продуктивного пласта и снижение вязкости топлива, что является основной целью [2].

При проведении данного анализа можно прийти к краткому выводу о том, что есть явная и наглядно представленная зависимость динамической вязкости от температуры: при повышении температуры вязкость уменьшается. При воздействии ультразвука эта зависимость более заметна, так как при разогреве этим способом вязкость уменьшается значительнее и быстрее. Происходит это вследствие разрушения связей в молекулах углеводородов.

Литература

1. Назмеев, Ю. Г. Мазутные хозяйства ТЭС / Ю. Г. Назмеев. – М.: Издательство МЭИ, 2002.

2. Мезиков, В. К. Перспективы применения мощного ультразвука для добычи высоковязкой нефти и битумов / В. К. Мезиков // Бурение и нефть. – 2015. – С. 72–73.

Секция 7. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ, НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА КОРИДОРНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

БАДРЕТДИНОВА Г.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преподаватель ХАЙБУЛЛИНА А.И.

Гидродинамические силы, возникающие при обтекании труб, определяются структурой потока перед пучком и в межтрубном пространстве. Вибрации, возбуждаемые гидродинамическими силами, могут быть образованы случайными и периодическими процессами течения жидкости в обтекаемых пучках труб.

Исследования степени интенсификации процессов теплообмена в работе [1] при искусственном создании пульсирующего течения, воздействующей на поток низкочастотными несимметричными пульсациями в условиях протекания жидкости в межтрубном пространстве коридорного пучка труб, и влияние изменения частоты и скважности импульсов для выбранного диапазона чисел Рейнольдса (f = [0;0.8]; ψ = [0;1]; Re = [20;100];) показывают, что данный метод при поперечном обтекании цилиндра, расположенном в центре коридорного пучка труб, приводит к интенсификации теплообмена в сравнении со стационарным течением в среднем до 10 %.

С точки зрения энергоэффективности, наибольшая интенсивность теплообмена наблюдается при пульсациях со степенью несимметричности ψ = 0,25, с учетом дополнительных энергозатрат на генерацию пульсаций.

В большинстве работ пульсации потока имеют симметричный синусоидальный характер, также при наличии большего количества работ, посвященных обтеканию цилиндра, исследований, посвященных теплообмену при пульсирующих течениях в пучках труб, крайне мало. В данной работе планируется исследовать теплообмен в пучках труб различной конфигурации, с симметричными и несимметричными пульсациями. Теплообмен одиночного цилиндра при пульсациях с различной скважностью ψ численным методом исследовался в работе [2], пучков труб – в статье [1]. Показано, что скважность пульсаций ψ оказывает влияние на теплоотдачу при неизменных Re и частотах f.

При поперечном обтекании пучков труб в условиях ПНП численным методом в программе ANSYS Fluent 14.0 исследован внешний коэффициент теплоотдачи, пульсирующим потоком. Расчет оптимальной сетки произведен по методике, приведенной в работе [3].

Числа Рейнольдса лежали в диапазоне $100 \le \mathrm{Re} \le 1000$, числа Прандтля $215 \le \mathrm{Pr} \le 363$, частота и безразмерная амплитуда пульсаций находились в диапазоне $0{,}2 \le f \le 0{,}5$, Гц, $15 \le \beta \le 35$, скважность пульсаций $0{,}25 \le \psi \le 0{,}5$. Исследование внешней теплоотдачи при низкочастотных пульсациях проводилось для 3 коридорных пучков.

На рис. 1 показаны зависимости $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st}$ от Re при различных s_1/D для $\varphi = 90°$. С увеличением Re в диапазоне $100 \le \mathrm{Re} \le 600$ происходит резкое снижение $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st}$ независимо от s_1/D, по сравнению с диапазоном $600 \le \mathrm{Re} \le 1000$, где отношение $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st}$ меняется незначительно. Увеличение же s_1/D приводит к повышению $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st}$. Рассматривая влияние ψ на теплообмен видно, что интенсификация в основном наблюдается при режимах с меньшей ψ.

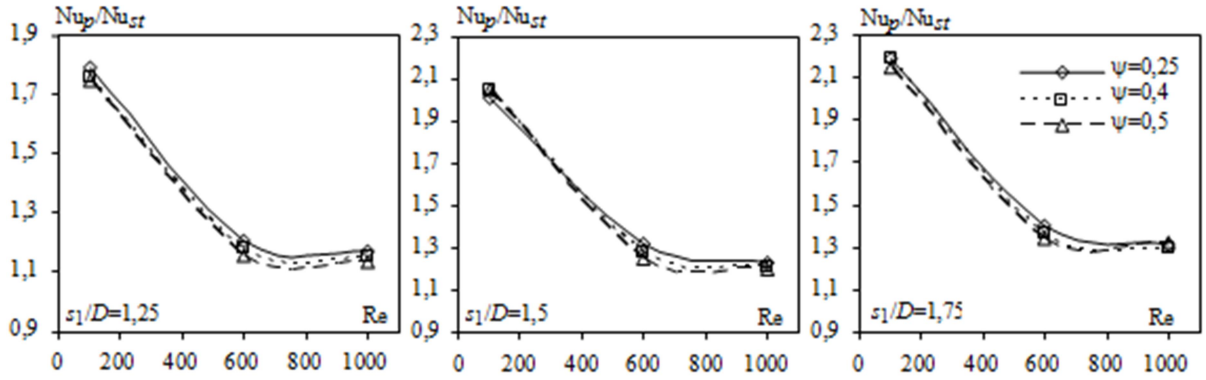


Рис. 1. Зависимость $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st}$ от Re при Pr = 215, $\beta = 15$, $f = 0{,}5$ Hz, $\varphi = 90°$

На рис. 2 показаны зависимости $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st}$ от β при $\varphi = 90°$ из которых следует, что увеличение β и f приводит к повышению теплоотдачи. Когда Re = 600, Pr = 293, $f = 0{,}2$ (рис. 2, *а*) заметно, что с увеличением s_1/D влияние ψ уменьшается, т.е. происходит сближение кривых ψ=0,25, 0,4 и 0,5.

При режимах пульсаций с меньшей интенсивностью, т.е. при минимальных β и f, наблюдаются значения $\mathrm{Nu}_p/\mathrm{Nu}_{st} < 1$, что в основном проявляется при приближении к симметричному характеру пульсаций $\psi = 0{,}5$ и с уменьшением s_1/D.

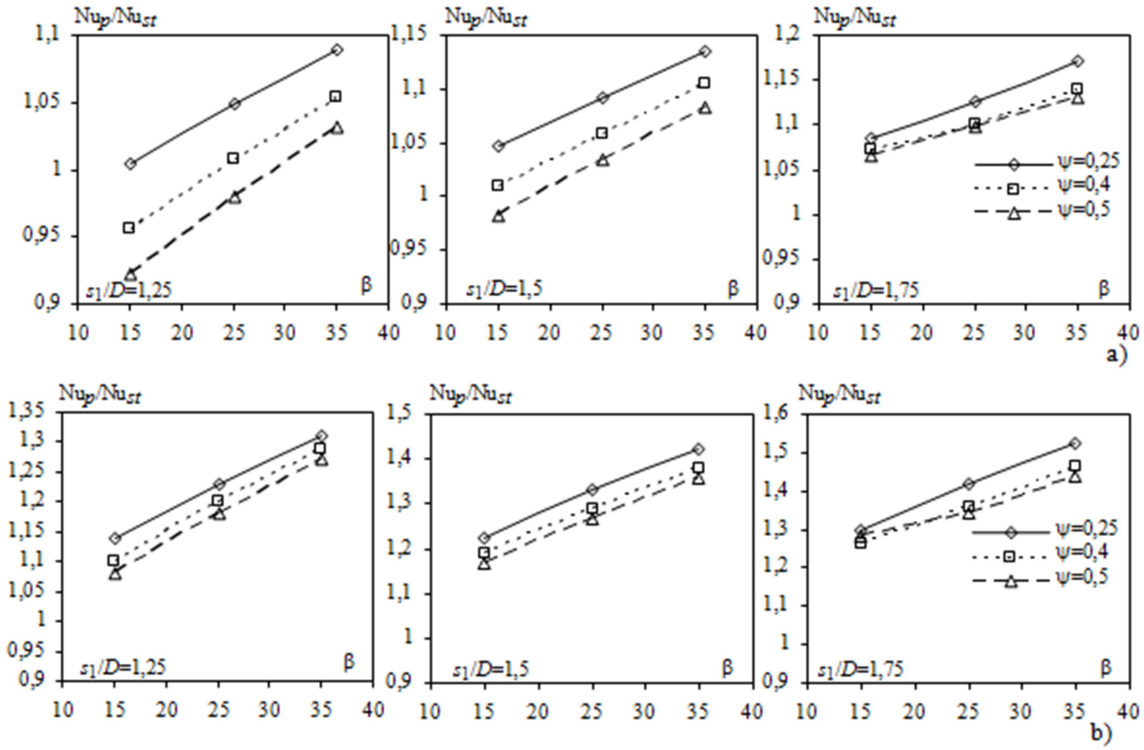


Рис. 2. Зависимость Nu_p/Nu_{st} от β: *a* – Re = 600, Pr = 293, *f* = 0,2, Hz, φ = 90°; *b* – Re = 600, Pr = 293, *f* = 0,5, φ = 90°

По результатам зависимостей $Nu_{нс}/Nu_{ст}$ от Pr для различных s_1/D видно, что повышение числа Pr, также как и повышение Re приводит к снижению теплоотдачи при ПНП по сравнению со стационарным течением для всех s_1/D.

Литература

1. Мусаева, Д. А. Исследование влияния низкочастотных пульсаций потока жидкости на процессы теплообмена при поперечном обтекании коридорного пучка труб / Д. А. Мусаева, А. И. Гурьянов, А. А. Синявин // X Международная научная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». – Алушта, 2012. – С. 183–186.

2. Мусаева, Д. А. Математическое моделирование процессов теплообмена при поперечном обтекании цилиндра в условиях низкочастотных несимметричных пульсаций потока жидкости / Д. А. Мусаева, А. И. Гурьянов, А. А. Синявин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – № 7-8. – С. 19–27.

3. Моделирование турбулентности пульсирующего потока теплоносителя в коридорном пучке труб / А. И. Хайбуллина [и др.] // Теплофизические основы энергетических технологий: сб. ст. V Всерос. науч. конф. с международным участием. – Томск, 2014. – С. 368–372.

УДК 620.92

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ГИНИЯТУЛЛИНА Э.И., АБЗАЛОВА Л.А., МИННУЛЛИН Б.И.,
КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. НУРУЛЛИН Э.Г.

Энергоресурсосбережение – основа эффективного функционирования всех отраслей экономики, в том числе и сельского хозяйства. Государственной программой энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года, наряду с мероприятиями, направленными на повышение энергоэффективности производственных процессов, предусмотрено применение экологически чистых технологий. К числу таковых относятся и технологии производства энергии нетрадиционными способами. Снижение выбросов парниковых газов на основе использования нетрадиционных источников энергии – одна из основных заявленных задач госпрограммы. В основном мероприятии «Развитие биотехнологий» Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы, разработанной в соответствии с Комплексной программой развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года, одним из приоритетных направлений определено развитие биоэнергетики (биотопливо).

Между тем, в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы отмечается, что «в настоящее время наиболее востребованные отечественные технологии, основанные на новейших достижениях науки, не находят применения в аграрном производстве».

Изложенное выше определяет актуальность научных исследований в области производства и применения нетрадиционной энергии, обеспечивающей снижение экологического дисбаланса на земном шаре.

Целью данной статьи является обоснование перспективных направлений производства и применения нетрадиционных видов энергии в сельском хозяйстве.

В статье использованы некоторые материалы исследований, выполненные авторами ранее, а также общеизвестная публичная информация. При выполнении исследований применялись общенаучные и частные методы.

Обзор научных публикаций в данной области, изучение специфичной литературы и мирового опыта передовых стран дают основание полагать, что из множества известных нетрадиционных видов энергии к числу наиболее научно обоснованных и доказавших на практике свою состоятельность с экологической точки зрения, относятся солнечная, ветровая и биотопливная энергии.

Кроме экологичности указанных видов энергии, очень важна рентабельность их производства. Рентабельность производства рассматриваемых видов нетрадиционной энергии зависит от следующих основных групп факторов:

1. Дешевая доступность неиссякаемого источника нетрадиционной энергии (для ветровой – ветров, солнечной – среднегодовая температура и количество солнечных дней, биотопливной – биомассы).

2. Ресурсосберегающие технологии и техника.

3. Рынок сбыта.

4. Господдержка.

На наш взгляд, наряду с экологичностью, именно наличие и одновременное сочетание перечисленных факторов были основой для наибольшего развития солнечной, ветровой и биотопливной энергий во многих ведущих странах мира.

Анализ этих факторов показывает, что отрицательное влияние на рентабельность производства рассматриваемых видов нетрадиционной энергии в нашей стране, в первую очередь, оказывают отсутствие рынка сбыта нетрадиционной энергии, а также господдержки производства, применения и продажи нетрадиционной энергии.

Данную задачу можно решить путем производства нетрадиционной энергии для внутреннего использования по принципу энергоавтономности. Наиболее приемлемой отраслью для применения такой модели является агропромышленный комплекс. В пользу этого говорит тот факт, что в сельском хозяйстве имеется легко доступная дешевая биомасса для производства биотопливной энергии и сельскохозяйственные территории более доступны для ветров для производства ветровой энергии.

Таким образом, наиболее перспективными нетрадиционными видами энергии в сельском хозяйстве являются ветровая и биотопливная энергии. Биотопливная энергия может быть генерирована и использована в виде тепла и электричества, что является еще одним весомым фактором, подверждающим её перспективность. Тепловая энергия получается в результате сжигания биотоплива, а электрическая – путем использования тепла для привода генераторов электричества.

Анализ существующих видов биотоплива показывает, что они отличаются большим разнообразием по виду, способу производства и применения, источнику сырья и многим другим признакам: жидкие (биоэтанол, биобутанол, биодизель, очищенное растительное масло); газовое (биогаз). Выполненные ранее исследования по оценке перспективности основных биологических видов топлива показали, что наиболее перспективным направлением в области переработки биомасс в энергию является производство биогаза из продукции растениеводства и отходов животноводческой отрасли [1, 2].

Наиболее перспективными с экологической и экономической точек зрения нетрадиционными видами энергии в нашей стране для сельского хозяйства являются ветровая энергия и биотопливная энергия, произведенная на основе биогаза. Сырьем для получения биогаза является отходы животноводства и продукция растениеводства. В условиях отсутствия господдержки рентабельность производства ветровой и биогазовой энергий может быть обеспечена только при внедрении ресурсосберегающих технологий и техники, а также использования произведенной энергии для внутреннего потребления на принципе энергоавтономности.

В связи с этим в перспективе необходимо проводить исследования по обоснованию модели энергоавтономного сельскохозяйственного предприятия на основе ветровой и биогазовой энергии, а также по разработке ресурсосберегающих технологий и технических средств для их производства в условиях сельского хозяйства.

Литература

1. Нуруллин, Э. Г. Анализ переработки биомасс в биотоплива / Э. Э. Нуруллина, Э. Э. Нуруллин // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан: тр. X Междунар. симпозиума. – Казань, 2010. – Ч. 1. – С. 458–462.

2. Нуруллин Э. Г. Перспективы использования биологических видов топлива / Э. Э. Нуруллина, Э. Э. Нуруллин // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. В 5 ч. – Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология: тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – С. 299–302.

УДК 621. 175 : 658. 2

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПАРОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВАХ ПУТЕМ ЗАЛИВА КОНДЕНСАТОМ ЧАСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

ГРАЧЕВА Ю.А., ДМИТРИЕВА Е.С., СГУ, г. Саратов

Науч. рук.д-р техн. наук, проф. ПЕЧЕНЕГОВ Ю.Я.

Тепловые потери с вторичным и пролетным паром в паровых теплообменных устройствах в среднем по отраслям промышленности составляют 25–30 % [1]. Данные потери могут быть устранены путем залива части поверхности теплопередачи устройств конденсатом греющего пара. Дополнительный положительный эффект при этом состоит в том, что снижается расход греющего пара, затрачиваемого непосредственно на нагревание теплоносителя – технологического продукта.

В настоящей работе на конкретном примере установлены некоторые количественные показатели, характеризующие эффективность переохлаждения конденсата в паровом теплообменном устройстве.

Рассматривался пароводяной бойлер (рис. 1) с площадью поверхности теплопередачи F = 10 м^2, тепловой мощностью Q = 860 кВт. При номинальном режиме работы бойлера конденсат выпускается с температурой t_sнасыщения пара, давление пара $p_{s,0}$ = 0,384 МПа, его расход, затрачиваемый непосредственно на нагрев воды, – D_0 = 0,4 кг/с. Вода с расходом G = 4 кг/с нагревается от температуры t' = 15 °С до t'' = 65 °С. Бойлер работает по противоточной схеме и имеет коэффициент теплопередачи k = 800 Вт/(м^2·К).

Расчеты выполнялись с использованием уравнений теплопередачи

$$Q = k \cdot [F \cdot (1 - n) \cdot \left(t_s - \frac{t_з + t''}{2}\right) + F \cdot n \cdot \left(\frac{t_s + t_к}{2} - \frac{t_з + t''}{2}\right)] . \quad (1)$$

и теплового баланса для участка площадиFзанятого греющим паром

$$D \cdot r = G \cdot c_р \cdot (t'' - t_з) \quad (2)$$

и для участка занятого конденсатом

$$D \cdot c_к \cdot (t_s - t_к) = G \cdot c_р \cdot (t_з - t'), \quad (3)$$

где $n = F_з/F$ – доля площади поверхности теплопередачи $F_з$, залитой конденсатом; r – теплота конденсации пара (вычислялась по формуле [2]

$r = 2562 - 3 \cdot t_s$, кДж/кг); $c_р$ и $c_к$ – теплоемкости воды и конденсата (принималось $c_р = c_к = 4{,}3$ кДж/(кг · К)); $t_з$ и $t_к$ – температуры воды на выходе из участка залива и конденсата на выходе из бойлера соответственно.

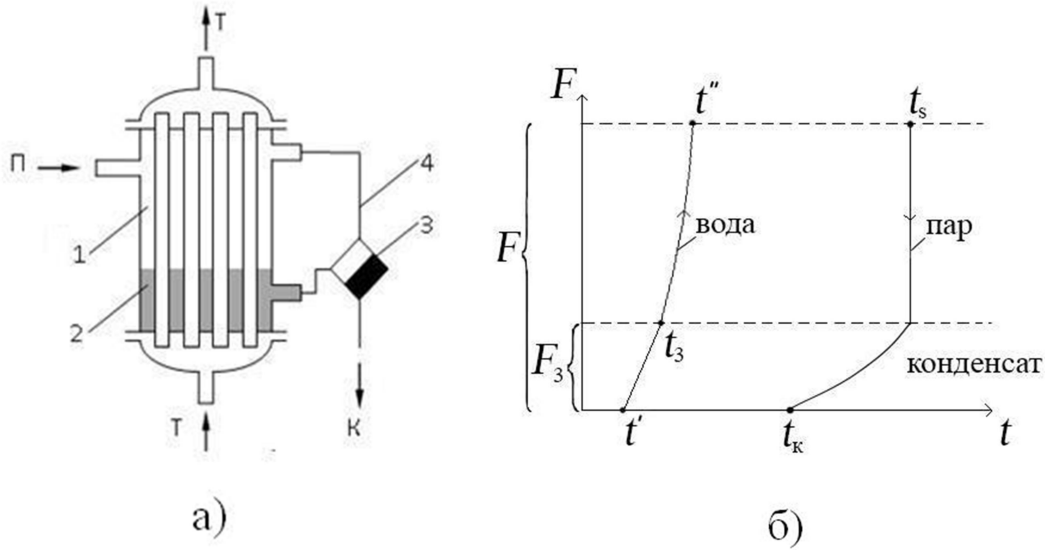


Рис. 1. Схема бойлера (*а*) и распределение температур потоков теплоносителей (*б*): *1* – паровой объем; *2* – конденсат; *3* – конденсатоотводчик; *4* – трубка, соединяющая паровые пространства конденсатоотводчика и теплообменника; П – вход пара; К – выход конденсата; Т – нагреваемый теплоноситель

Некоторые результаты расчетов для условий F = const и Q = const приведены на рис. 2. Для компенсации уменьшения действующей разности температур при заливе конденсатом части F необходимо увеличивать t_s за счет повышения давления p_S греющего пара. Из рис. 2, *а* видно, что в области $n \le 0{,}15$ увеличение p_S практически малозначимо.

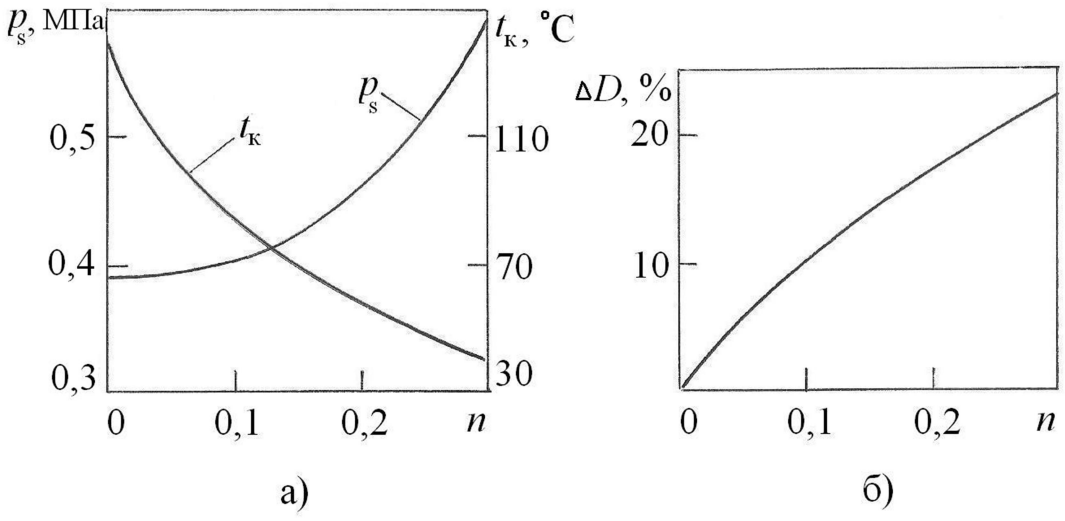


Рис. 2. Графики зависимостей p_s и $t_к$ (*а*) и ΔD (*б*) от n

Из рис. 2, *б* следует, что залив части поверхности теплопередачи конденсатом приводит к существенной экономии греющего пара, идущего непосредственно на нагрев воды. При n = 0,3, например, экономия составляет $\Delta D = (1–D/D_0)\cdot 100 = 22{,}5$ %. Затраты на греющий пар при круглогодичной работе бойлера и цене тепловой энергии 2 тыс. руб./Гкал уменьшаются в этом случае на 3,6 млн руб./год. Учет устраняемых при этом потерь с вторичным и пролетным паром значительно увеличивает величину достигаемой экономии.

Литература

1. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002.

2. Печенегов, Ю. Я. Пароконденсатные системы промышленных предприятий и конденсатоотводчики / Ю. Я. Печенегов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1998.

УДК 697. 622.

ПОДБОР БАКА-АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕЛИОУСТАНОВКИ

ИСЛАМОВА Г.Н., КГЭУ, г. Казань

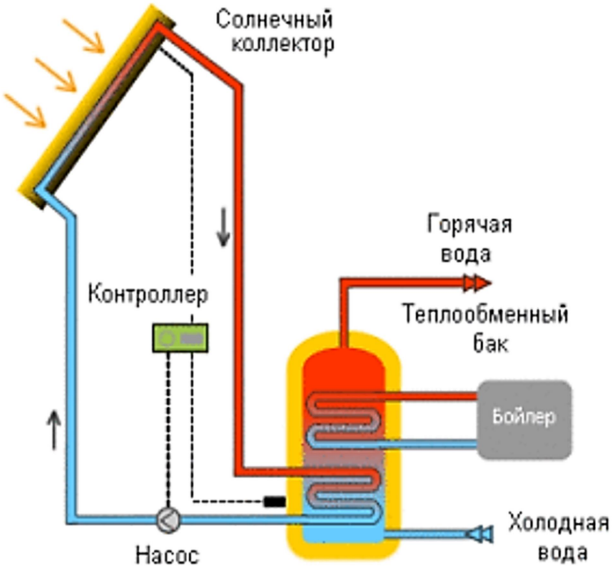
Науч. рук. ст. преподаватель КУЗНЕЦОВА М.А.

Из-за динамичного истощения горючего топлива, значительного ухудшения экологического состояния Земли и многих технологических причин стремительными темпами начала развиваться альтернативная энергетика на основе возобновляемых источников энергии. В наибольших масштабах из возобновляемых источников энергии используется солнечная энергия. Одним из технических преобразователей солнечной энергии являются гелеоустановки. Гелеоустановки применяются для отопления и горячего водоснабжения сооружений.

Для оптимального теплоснабжения необходимо, чтобы все элементы гелиосистемы были подобраны по определенным параметрам. Основными элементами гелиосистемы, представленной на рисунке, являются: солнечный коллектор, теплообменный бак (бак-аккумулятор), контроллер, насос.

В данной работе мы исследуем необходимые критерии и оптимальные параметры для функционирования бака-аккумулятора в гелиосистеме.

При подборе бака-аккумулятора необходимо учитывать объем и форму бака, теплоизоляцию, размер теплообменника.



Основные элементы гелиосистемы [1]

В результате анализа мы выяснили, что объем бака подбирается из расчета потребления теплоносителя, форма бака должна быть узкой и длинной в высоту, соотношение высоты к диаметру должна быть не менее чем 2,5 к 1, для обеспечения оптимальной термической стратификации, где нагретая вода поднимается вверх, откуда осуществляется водозабор для потребителей, а в нижней части будет холодная вода из-за разницы в плотности горячей и холодной воды [2].

Литература

1. Бутузов, В. А. Солнечное теплоснабжение в мире и в России / В. А. Бутузов // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013. – № 8. – С. 74–76.

2. Черкасов, С. Г. Квазистационарный режим естественной конвекции в вертикальном цилиндрическом сосуде / С. Г. Черкасов // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1986. – № 1. – С. 146.

УДК 621.577.42

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСЛОВИЙ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОТЕРЬ В КАНАЛЕ ТЕПЛОТРАССЫ

КОЗЛОВА М.В., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. ст. преп. БАННИКОВА С.А.

В настоящей работе рассмотрен способ повышения энергетической эффективности тепловых сетей системы централизованного теплоснабжения. Существенные значения тепловых потерь при транспортировке тепловой

энергии приходятся на потери в окружающую среду через тепловую изоляцию трубопроводов, что, учитывая существенный физический износ тепловых сетей, делает вопрос повышения эффективности транспорта тепловой энергии актуальным. В работе в качестве энергосберегающей технологии в системах передачи тепловой энергии от источника потребителю предложено устройство по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы, основной целью которого является утилизация неизбежных тепловых потерь в сетях теплоснабжения [1, 2, 3, 4]. Такое устройство состоит из коллектора и сопряженного с ним парокомпрессионного трансформатора теплоты. Коллектор, расположенный в канале теплотрассы, предназначен для восприятия линейных тепловых потерь от трубопроводов тепловой сети системы теплоснабжения. В свою очередь, парокомпрессионный трансформатор теплоты позволяет повысить потенциал воспринятой тепловой энергии до требуемых параметров.

Для оценки эффективности работы предлагаемого устройства и, соответственно, целесообразности его применения необходимо определиться с условиями его работы и энергетическим потенциалом тепловых потерь в сетях централизованного теплоснабжения, который соответствует действительным тепловым потерям в течение отопительного периода.

Целью настоящей работы стало определение расчетной температуры воздуха внутри канала теплотрассы и тепловых потерь сети системы централизованного теплоснабжения в течение отопительного периода при соответствующих среднемесячных температурах наружного воздуха и грунта для различных температурных графиков работы систем теплоснабжения города Иваново [5].

Расчеты выполнены для закрытой двухтрубной системы теплоснабжения с подземной прокладкой в непроходных каналах, с качественным методом регулирования отпуска теплоты. Определение линейных тепловых потерь канала теплотрассы осуществляется по заданной толщине изоляционного слоя с учетом теплового взаимодействия канала и окружающего его грунта.

Непроходной канал расположен на глубине 1,6 м, расчет его геометрических размеров выполнен в соответствии с рекомендациями, приведенными в нормативной документации [6] для принятого внутреннего диаметра подающего и обратного трубопроводов 0,2 м. Изоляция трубопроводов, толщиной 42 мм выполнена из пенополиуретана в полиэтиленовой

оболочке, с коэффициентом теплопроводности равным 0,033 Вт/м·К [7]. Преобладающим видом грунта является суглинок со средним влагосодержанием 0,27 кг/кг и расчетной теплопроводностью 1,86 Вт/м·°С [7].

При определении линейной плотности теплового потока и температуры воздуха внутри канала принимается допущение об одномерности температурного поля в теплоизоляционном слое. Полученные в результате расчетов зависимости показаны на рис. 1 и 2.

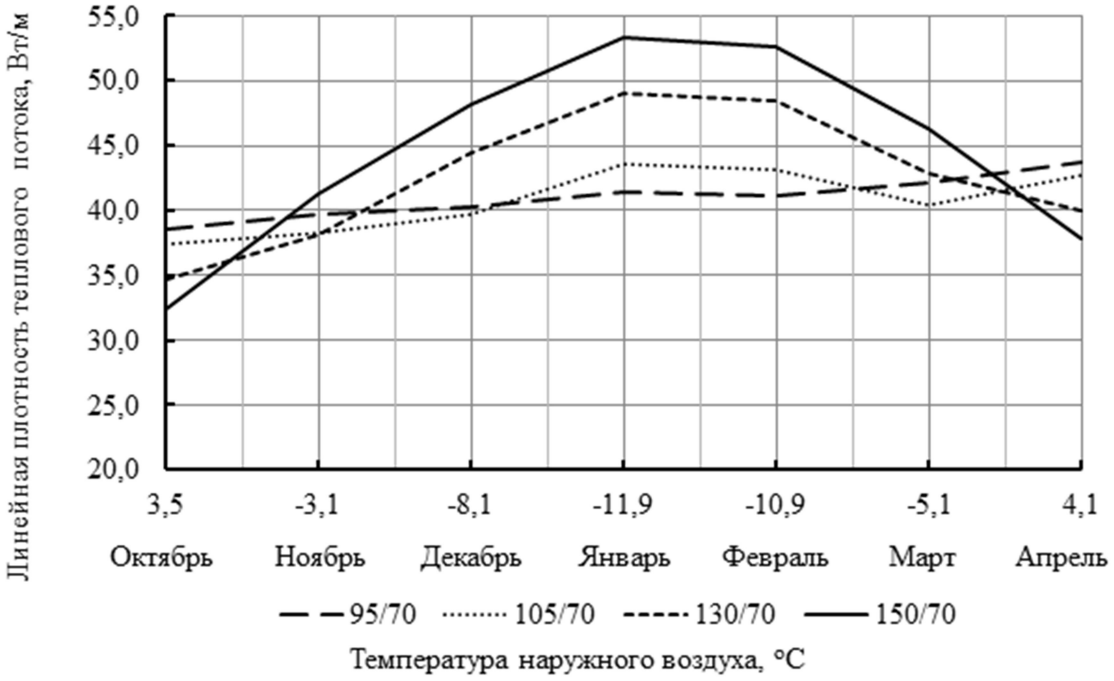


Рис. 1. Зависимость линейной плотности теплового потока от температуры наружного воздуха

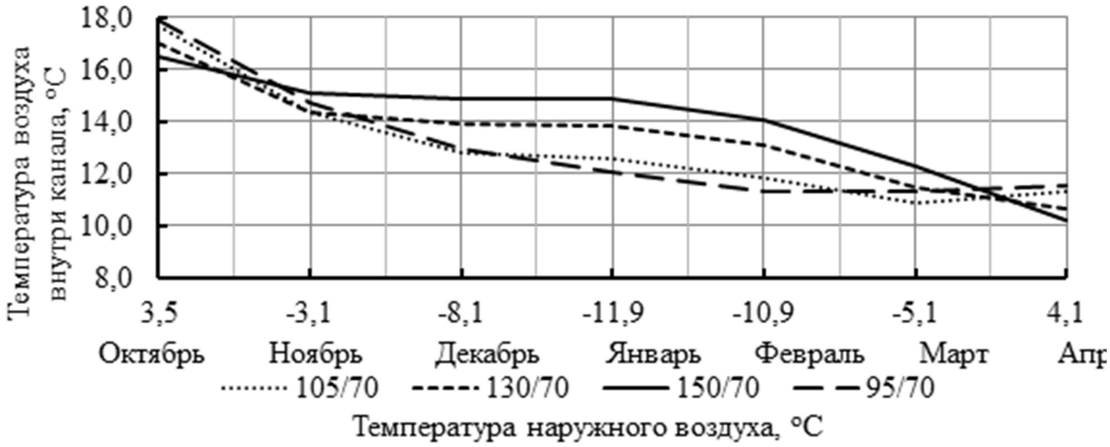


Рис. 2. Зависимость температуры воздуха внутри канала от температуры наружного воздуха

В расчетах учтены потери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленные наличием в них крепежных деталей и опор [8].

Проведенные исследования показали, что тепловые потери сети теплоснабжения обладают достаточным потенциалом для использования их в качестве низкопотенциального источника энергии в трансформаторах теплоты.

Литература

1. П. м. № 88361 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ E02D 1/00. Устройство для утилизации тепловых потерь теплотрасс / Банников А. В., Банникова С. А.; патентообладатель ИГЭУ. – № 2009118787/22; заявл. 18.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.

2. П. м. № 94988 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ E02D 1/00. Устройство по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы / Захаров В. М., Банникова С. А.; патентообладатель ИГЭУ. – № 2010105334/22; заявл. 15.02.2010; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 16.

3. П. м. № 103175 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ F24D 11/02. Устройство по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы / Захаров В. М., Смирнов Н. Н., Банникова С. А.; патентообладатель ИГЭУ. – № 2010145682/03; заявл. 09.11.2010; опубл. 27.03.2011, Бюл. № 9.

4. П. м. № 116607 Российская Федерация, МПК$^{2006.01}$ F24D 11/02. Устройство для утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы / Захаров В. М. [и др.]; патентообладатель ИГЭУ. – № 2011151847/12; заявл. 19.12.2011; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15.

5. СП 131.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Минрегион России. – М.: ГП ЦПП, 2011. – 114 с.

6. СП 124.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. Тепловые сети / Минстрой России. – М.: Минрегион России, 2012. – 78 с.

7. ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 48 с.

8. СП 61.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Минрегион России. – М.: ЦПП, 2012 – 44с.

УДК 621. 621.365.5

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

ЛЕОНЕНКО А.С., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. д-р техн. наук., проф. ЗИМИН Л.С.

Вследствие уменьшения мировых запасов энергоносителей современный подход к использованию энергии означает ответственную эксплуатацию еще доступных ресурсов. Поэтому непрерывно возрастающие требования к энергосберегающим процессам нагрева должны быть реализованы в промышленности прежде всего путем внедрения эффективных технологических процессов [1].

В технологиях горячей деформации металлов существенное значение имеет выбор теплоносителя: пламенный нагрев (сжигание газа, мазута) или электрический. При электронагреве методом сопротивления подводимая путем теплопередачи конвекцией максимальная мощность составляет Руд =18,8 кВт/м^2. При индукционном нагреве токами промышленной частоты, который, например, успешно применяется для большинства размеров алюминиевых слитков на Самарском металлургическом заводе, удельная мощность достигает Руд =1360 кВт/м^2, т.е. примерно в 15 раз выше, чем в печах сопротивления.

Индукционный нагрев все шире внедряется во многие отрасли промышленности. Наиболее перспективно применение индукционного нагрева в технологиях нагрева металла для горячего пластического деформирования [2]. При этом всегда ставится задача достижения максимальной энергоэффективности технологических комплексов «индукционная нагревательная установка (ИНУ) – обработка металла давлением (ОМД)». Традиционный путь решения такой задачи состоит в решении локальных задач оптимизации отдельно для нагревательной установки и деформирующего оборудования в жестких рамках заданных технологических инструкций, формируемых за пределами этих задач. Качественно более широкие возможности появляются при совместной оптимизации этих процессов, преследующей достижение предельных значений совокупного экономического показателя работы комплекса в целом. Здесь целесообразен системный подход, когда ИНУ рассматривается в едином комплексе

с ОМД с целью достижения максимальной энергоэффективности работы технологического комплекса «ИНУ-ОМД» в целом. Определяющая роль температурного фактора позволяет описать комплекс «ИНУ-ОМД» поведением температурного поля обрабатываемого металла на соответствующих стадиях технологического процесса. В общем случае это уравнение Фурье-Кирхгофа, отражающее на первой стадии нагрев металла в индукторе, на второй – его охлаждение при транспортировании к деформирующему оборудованию, и на третьей – температурное поле в процессе ОМД. Из всех затрат при функционировании комплекса «ИНУ-ОМД» превалирующее значение имеют затраты на нагрев. Так, расход электроэнергии при индукционном нагреве алюминиевых сплавов в среднем равен 280 кВт·ч/т. Расход энергии на деформацию для обжимных станов – до 80 кВт·ч/т, при прессовании до – 50 кВт.ч/т.

Экономически эффективным электротермический процесс становится в результате оптимизации. Она особенно ощутима для массового производства или для объектов с большими капиталовложениями, к которым относятся и технологические комплексы для обработки металлов давлением (ОМД). При этом экономия намного превышает затраты на оптимизацию, на которую целесообразно затрачивать до 15 % стоимости проектирования.

Основная трудность в формировании экономического критерия оптимизации обусловлена требованием иметь единственный обобщенный показатель, который отражал бы многочисленные частные аспекты. При учете различных аспектов экономической эффективности можно выделить четыре основных фактора, которые при заданных ценах и нормативных показателях однозначно определяют значения подавляющего большинства остальных показателей: количество и качество продукции, а также эксплуатационные и капитальные затраты на ее производство.

Оригинальность рассматриваемой задачи заключается в том, что температурное поле нагреваемой заготовки и время её транспортирования к деформирующему оборудованию заранее не фиксируются, а входят в параметры оптимизации. Поиск проектных решений сводится к решению задач оптимального по быстродействию управления отдельно для индукционной установки и деформирующего оборудования для достижения заданной температуры в конце нагрева с учётом периода транспортирования. Причём, в данном случае управление будет также оптимальным по расходу энергии.

Обычно, согласно принципу максимума, при решении подобных задач на каждом интервале управление выбирают для объекта, соответствующего этому интервалу. Но в данном случае имеется своеобразная ситуация: минимальное значение времени цикла работы комплекса определяется предельными возможностями одного из его элементов (индуктор или деформирующее оборудование), который является «узким местом» комплекса, сдерживающим его производительность.

В процессе решения одновременно с поиском управляющих воздействий находятся узловые моменты оптимальной технологической инструкции: оптимальное температурное поле заготовки перед деформацией и оптимальные длительности нагрева, транспортировки и деформации.

Действительно энергоэффективный технологический комплекс «ИНУ - деформация» можно спроектировать только с учётом его системы электроснабжения (СЭС). Под энергоэффективным проектированием СЭС комплекса ИНУ понимается построение наиболее экономичного её варианта при соблюдении технических условий, накладываемых как элементами СЭС, так и потребителями – ИНУ. В качестве экономического критерия энергоэффективности целесообразно принимать суммарные приведенные затраты на СЭС, которые определяются технологическими, электротехническими и топологическими параметрами. К технологическим параметрам относятся технологическая схема процесса «ИНУ – деформация» с указанием режимов работы, количество и мощность ИНУ, частота тока, требования к надёжности электроснабжения и регулированию мощности; к электротехническим – напряжение и число фаз (при частоте 50 Гц) ИНУ, количество и мощность источников питания, компенсирующих устройств, конструктивное исполнение сети; к топологическим – координаты расположения ИНУ, источников питания, компенсирующих устройств, а также конфигурация сети.

Литература

1. Зимин, Л. С. Направления энергосбережения / Л. С. Зимин, А. С. Егиазарян // Градостроительство и архитектура. – 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 125–132.

2. Зимин, Л. С. Ключевые проблемы при эксплуатации индукционных нагревателей / Л. С. Зимин, А. С. Егиазарян // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2017. – № 1(53). – С. 179–182. (Сер. Технические науки).

УДК 620.92

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЧИСЛЕННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ СТАНЦИЙ С СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ И СУПЕРКОНДЕНСАТОРАМИ

МЕСТНИКОВ Н.П., СВФУ, г. Якутск

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. КОРОЛЮК Ю.Ф.

Республика Саха (Якутия) является уникальным регионом в единой энергетической системе Российской Федерации. Компания ПАО «Якутскэнерго» занимает одно из первых мест в РАО «ЕЭС России» по количеству установленных энергоисточников, площади обслуживания и протяженности линий электропередачи. Площадь ее обслуживания охватывает всю территорию Якутии и составляет 3,2 млн. км^2 (1/5 часть России). Свыше 40 % территории республики находится за полярным кругом.

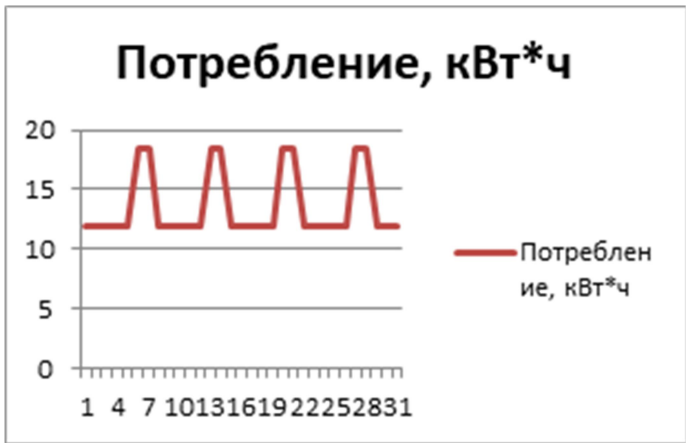
По данным Государственного комитета Якутии по делам Арктики, в 214-и кочевых семьях проживает 578 взрослых и 333 детей – всего 931 человек. К тому же в настоящее время существуют более 100 малых населенных пунктов, в которых проживают в основном от 4 до 15 человек. Следует отметить, что снабжение электроэнергией данных потребителей производится с помощью дизель-генераторов, так как они зачастую находятся в области децентрализованного электроснабжения. Поэтому Правительством РС(Я) ежегодно тратится более 7 млрд. руб. в год для перевозки ГСМ на Северный энергетический район Якутии.

Другой проблемой является электроснабжение участков, которые были выданы, согласно Федеральному закону от 01.05.2016 № 119-ФЗ (далее – Дальневосточный гектар). На 30 октября 2017 год было отдано 31 247 участков на пользование. Данные участки в основном не имеют всей необходимой инфраструктуры для продуктивной предпринимательской и фермерской деятельности, а именно: электричество, газ и тепло. В основных случаях расстояние от ближайшей ПС до участка более 10 километров ВЛ 0,4 кВ (6–8 млн рублей). Данные показатели являются экономически невыгодными и неприемлемыми для начинающего фермера. Использование объектов децентрализованного электроснабжения наиболее реально и достижимо при комбинации ДГУ и солнечной энергетики.

В настоящее время докладом предлагается разработка опытного образца автономной солнечной электростанции (далее – СЭС) с накопителями энергии (суперконденсаторами) мощностью 1 кВт и дизель-генератором (далее – ДГУ) в 2 кВт для электроснабжения жилого дома на период «весна-лето-осень». Как правило, функционирование СЭС и эффективнее с 21:00 до 07:00 при минимальной нагрузке со стороны потребителя. А с 07:00 до 21:00 функционирование ДГУ. В это время производится зарядка суперконденсаторов с помощью солнечных панелей для последующей «ночной смены».

Был проведен анализ потребления электроэнергии в будние и выходные дни и на зимний и летний период. Пики потребления приходятся на утро с 07:00 до 08:30, на обед с 12:00 до 14:00 и вечер с 18:00 до 20:00. Наиболее низкая нагрузка начинается после 22:00 до начала утра. Объемы потребления в летний период меньше, чем в зимний на 16–20 % в будние дни, а в выходные – на 30 %. Поэтому летние и зимние максимумы существенно отличаются друг от друга.

Для наглядного анализа приводятся диаграмма потребления электроэнергии в летние месяцы, подсчитанные на 1 семью в количестве 5–6 человек в условиях изолированного электроснабжения.



Потребление электроэнергии в летний период

Для решения данных проблем и задач предлагается использование гибридных энергетических установок (ДГУ + СЭС + суперконденсаторы), которые являются наиболее реальным решением для постоянного электроснабжения данного вида потребителей. Например, в кочевых семьях потребление электроэнергии незначительно – от 400 до 1000 Вт постоянной мощности – для того, чтобы включить радио, телевизор или ноутбук, подзарядить необходимые устройства связи и т.д. При данных условиях возможна постоянная работа СЭС без включения ДГУ. А на отдаленных

фермерских хозяйствах потребление будет выше в 2 раза, чем в кочевых семьях или стойбищах. Электроснабжение производится в дневное время за счет ДГУ, а в ночное – СЭС + суперконденстаторы.

Литература

1. Константинов, А. Ф. Нетрадиционные энергоисточники Якутии / А. Ф. Константинов; отв. ред. Н. С. Бурянина. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – 212 с.

2. Монахова, И. Международный конгресс по нетрадиционной энергетике.

3. Технико-экономические показатели РЭС северных районов РС(Я) на 01.01.2018 / Министерство ЖКХ и энергетики РС(Я).

4. Корпоративный сайт компании ПАО «Русгидро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rushydro.ru.

5. Корпоративный сайт компании ООО «Титан», производитель суперконденсаторов в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.titanps.ru.

УДК 543.054.2

АДСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД И ДИНОХРОМА

МУРТАЗИНА Г.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. НОВИКОВ В.Ф.

Различные сорбционные материалы широко применяются в промышленном и сельском хозяйстве для очистки продуктов от приоритетных загрязнителей окружающей природной среды. Более узкая область применения этих материалов заключается в использовании их в качестве адсорбентов для газовой и жидкостной хроматографии. Ранее нами проводились исследования в области оценки сорбционных свойств новых природных материалов и было показано, что цеолитсодержащие породы Татарско-Шатрашанского месторождения характеризуются достаточно высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим растворителям различной физико-химической природы [1]. В настоящей работе исследованы сорбционные свойства Динохрома в сравнении с цеолитсодержащими породами Татарско-Шатрашанского месторождения [2].

Для определения сорбционной емкости исследуемых сорбентов использовали ряд органических растворителей, различающихся по полярным свойствам. Все исследуемые органические растворители характеризуются различными значениями температур кипения и полярными свойствами, определяются дипольными моментами μ и диэлектрической постоянной [3].

С целью влияния природы растворителей на сорбционные характеристики исследуемых сорбентов определены сорбционная емкость и абсолютные времена удерживания стандартных сорбентов в зависимости от длины адсорбционного слоя (табл. 1).

Таблица 1

Абсолютные времена удерживания различных растворителей на Динохроме и цеолитсодержащих породах Татарско-Шатрашанского месторождения

№	Наименование растворителя	Время удерживания									
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
Динохром											
1	Н-гексан	0,04	0,11	0,21	0,41	1,10	1,57	2,57	3,98	5,78	8,16
2	О-ксилол	0,29	1,20	2,36	4,03	6,41	9,46	12,6	17,1	25,1	32,2
3	Этилацетат	0,34	1,18	2,13	3,08	4,41	7,17	10,6	15,4	21,2	26,2
4	Дихлорэтан	0,44	2,16	5,17	8,57	14,2	20,6	26,5	37,0	48,3	69,5
Цеолит Поволжья											
1	Н-гексан	0,37	1,45	2,75	4,41	6,62	9,41	12,59	16,74	22,15	27,40
2	О-ксилол	1,18	3,21	7,03	12,53	20,04	29,16	39,46	51,34	67,53	86,30
3	Этилацетат	0,73	3,68	5,75	11,33	18,40	27,96	35,54	49,33	64,80	81,21
4	Дихлорэтан	0,61	2,94	7,01	13,43	21,58	31,99	45,45	56,10	69	90

Как видно из табл. 1, наиболее высокие времена удерживания характерны для Цеолит Поволжья.

В табл. 2 показано, что наиболее высокой сорбционной способностью обладает Цеолит Поволжья.

Таблица 2

Сравнительная характеристика сорбционной способности цеолитсодержанских пород Татарско-Шатрашанского месторождения и Динохрома

№	Наименование растворителя	Динохром		Цеолит Поволжья	
		t_{10}, с	А, %	t_{10}, с	А,%
1	Н-гексан	8	78	27	57
2	О-ксилол	32	81	86	54
3	Этилацетат	26	72	81	53
4	Дихлорэтан	69	98	90	66

Таким образом, на основе приведенных исследований, можно сделать вывод о том, что Динохром имеет более высокую сорбционную емкость по отношению к различным по природе органическим растворителям. А для увеличения сорбционной емкости у Цеолит Поволжья необходимо провести их модификацию различными химическими соединениями.

Литература

1. Муртазина, Г. Р. Сравнительная характеристика адсорбционной способности природных и синтетических пористых материалов / Г. Р. Муртазина, Ю. В. Снигирева, В. Ф. Новиков // Сборник XII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2017». – Иваново, 2017. – Т. 1. – С. 211–212.

2. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение / А. И. Буров; под ред. А. В. и А. И. Буровых. – Казань: Изд-во «ФЭН» АН РТ, 2001. – 176 с.

3. Оценка сорбционных свойств органических растворителей / В. Ф. Новиков // Современные тенденции развития науки и технологии. – 2016. – С. 129–131.

УДК 621.315.6

К ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПОДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ В КАНАЛАХ

НАГИМОВА Э.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГУСЯЧКИН А.М.

Тепловые сети являются наиболее уязвимым и дорогостоящим элементом систем централизованного теплоснабжения Российской Федерации. Общая их протяженность составляет более 257 тыс. км. Основным видом прокладки (более 90 % общей протяженности) является подземная прокладка в непроходных и проходных каналах [3].

Применяемые ранее для тепловой изоляции наружных теплосетей изделия из минеральной ваты (маты и плиты) подвержены увлажнению при их длительной эксплуатации, что приводит к увеличению коэффициента теплопроводности и повышенным теплопотерям. Фактический срок службы таких трубопроводов для магистральных сетей составляет 12–15 лет, распределительных и квартальных сетей – 7–8 лет, т. е. значительно ниже нормативного, равного 25 годам. Через несколько лет эксплуатации потери составляли 10-20 % и выше от общего количества переданной теплоты [1].

Проблема сокращения тепловых потерь при транспортировке теплоты и повышения срока службы трубопроводов обостряется в связи с ростом цен на энергоносители, увеличением капитальных затрат на аварийные ремонты тепловых сетей и приобретает жизненно важное значение. Применение новых эффективных материалов и конструкций тепловой изоляции при строительстве и ремонте тепловых сетей обеспечивает, по мнению специалистов, значительное снижение тепловых потерь при транспортировке теплоты и повышение срока службы трубопроводов.

На сегодняшний день применительно к водяным тепловым сетям канальной прокладки специалистами рекомендуется применять теплоизоляционные изделия из пенополиуретана (ППУ), пенополимерминерала (ППМ), стеклянного штапельного волокна (СШВ), армопенобетона (АПБ), полистиролбетона и других материалов. Каждый из этих материалов имеет свои преимущества и недостатки и вопрос их применимости в конструкциях тепловой изоляции для конкретных условий эксплуатации достаточно сложен и актуален.

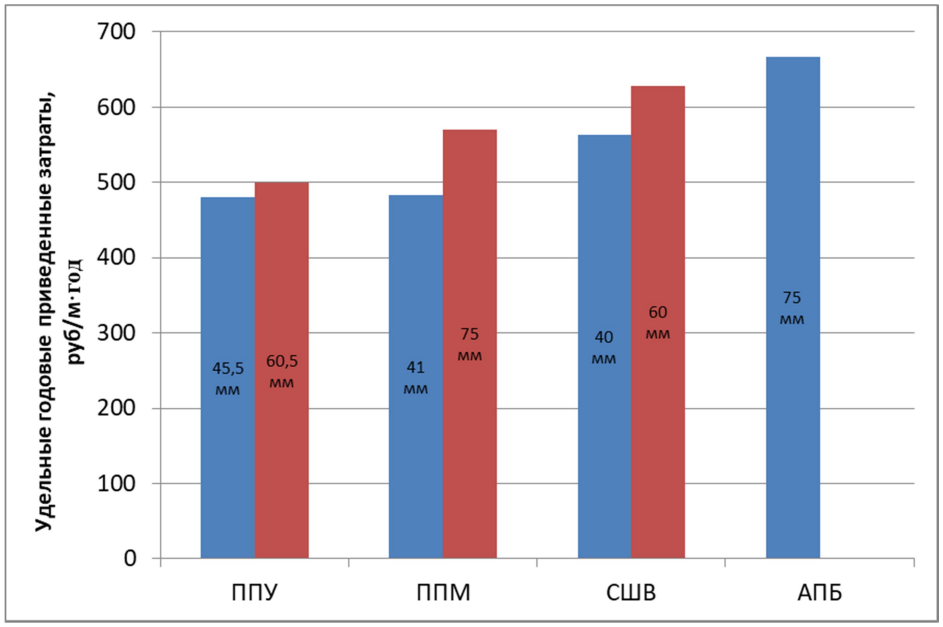
Требования к конструкциям тепловой изоляции и нормы тепловых потерь теплоизолированными трубопроводами в зависимости от диаметра трубопровода, температуры теплоносителя и вида прокладки (надземная или подземная) определяются СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». Согласно этому документу толщина тепловой изоляции определяется по нормированной плотности теплового потока.

Для оценки технико-экономической эффективности рекомендуемых к применению теплоизоляционных материалов и конструкций одним из определяющих факторов являются стоимостные показатели. Экономически оптимальную конструкцию тепловой изоляции для заданного типа прокладки нами предлагается определять по минимуму удельных годовых приведенных затрат (на 1 погонный метр трубопровода) на строительство и эксплуатацию тепловых сетей, позволяющему объективно сравнивать разные варианты при помощи единого стоимостного критерия, учитывающего стоимость материалов, срок их службы, затраты на строительство тепловых сетей, стоимость потерь теплоты [2] .

На рис. в качестве примера приведены результаты расчетов удельных годовых приведенных затрат при двухтрубной канальной прокладке для климатических условий г. Казань трубопроводов диаметром 159 мм с изделиями из пенополиуретана (ППУ толщиной 45,5 и 60 мм), пенополимерминерала (ППМ, 41 и 75 мм), стеклянного штапельного волокна (СШВ, 40 и 60 мм) и армопенобетона (АПБ, 75 мм) в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов, производимых в РФ.

Экономически оптимальной конструкцией тепловой изоляции для данных условий по результатам расчетов являются предизолированные трубы заводского изготовления с ППУ и ППМ изоляцией с толщиной изоляционного слоя 45,5 и 41 мм. Эти выводы будут корректны только при строгом соблюдении всех требований к изготовлению и монтажу этих теплопроводов, то есть при безаварийной работе в течение заявленного срока службы.

Необходимо отметить, что расчеты проведены для прямолинейного участка трубопроводов без учета стоимости отводов, изоляции стыков и затрат на наладку системы ОДК.



Удельные годовые приведенные затраты

Литература

1. Манюк, В. И. Новое поколение тепловых сетей – высокоэффективные системы трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией [Электронный ресурс] / В. И. Манюк, И. Л. Майзель // Сантехника. – 2004. – № 5. – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2655.

2. Нагимова, Э. В. Экономически выгодный вариант конструкции трубопроводов тепловых сетей с разными теплоизоляционными материалами / Э. В. Нагимова, А. М. Гусякин // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2017: матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. – Казань, 2017. – Ч. 1. – 388 с.

3. Шойхет, Б. М. Современные теплоизоляционные материалы для тепловых сетей подземной прокладки в каналах / Б. М. Шойхет // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 10. – 56 с.

УДК 614:543.3

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

ПАВЛОВА Е.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. НОВИКОВ В.Ф.

Результаты диагностики трансформаторного масла в настоящее время основные при испытании технического состояния силовых трансформаторов и выявлении причин развивающихся неисправностей, которое осуществляется на основании обширных экспериментальных исследований и построенных на их основе эмпирических зависимостей. Во многих странах используются разнообразные способы и показатели оценки трансформаторного масла, и в тоже время общепризнанные научно-обоснованные методики пока отсутствуют, так как они обладают относительно высокой погрешностью окислителя. В качестве первоначальных данных используются результаты физико-химического и хроматографического анализа на содержание в масле газов, антиокислительной присадки и фурановых соединений. Для качественной проверки контроля маслонаполненного оборудования в последнее время чаще всего используется хроматографический анализ трансформаторного масла на содержание газов. Хроматографический анализ растворенных газов позвоет достаточно точно диагностировать вид имеющегося повреждения и показатель его развития. Кроме того, возможно выявление дефектов изоляции на ранней стадии эксплуатации маслонаполненного электрооборудования.

Как известно, масло в силовых трансформаторах используется в качестве диэлектрика и теплоносителя. Диэлектрическая устойчивость трансформаторных масел в основном устанавливается присутствием волокон и воды, поэтому механические примеси и вода в маслах должны полностью отсутствовать. Низкая температура застывания масел (– 45 °С и ниже) необходима для поддержания их подвижности в условиях низких температур. Диэлектрические свойства масла проверяются путем определения его физических характеристик, на которые воздействуют вода и присутствующие в нем газы, а также продукты распада твердой изоляции и примеси.

В настоящей работе методом тонкослойной хроматографии выявлена концентрация антиокислительной присадки и фурановых производных в различных образцах как свежего так и отработанного трансформаторного масла.

В мире широкое применение получил метод контроля состояния бумажной изоляции маслонаполненного оборудования на содержание фурановых производных. Этот метод применяется дополнительно к анализу растворенных в масле газов, так как было выявлено, что содержание фурфурола в масле хорошо коррелируется со степенью полимеризации бумажной изоляции [2–3].

В большинстве случаев для этой цели используется метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, особенностью которого является применение микроколонки, которая обладает большой разделительной способностью. В виде подвижной фазы используются водные растворы метанола или ацетонитрила, а для обнаружения фурановых производных – УФ детектор [4].

Жидкостные хроматографы – достаточно дорогие приборы и требуют высокой квалификации обслуживающего персонала по сравнению с газовыми хроматографами.

Разработаны несколько методик определения фурановых производных, позволяющих использовать уже имеющиеся в лабораториях энергосистем газовые хроматографы или фотоколориметры. В частности, методики определения фурановых производных методом газожидкостной хроматографии, фотометрическая методика определения фурфурола с использованием экспресс-методики визуального определения последнего в трансформаторных маслах.

Методика определения фурановых производных методом газожидкостной хроматографии основана на предварительной экстракции фурановых соединений из масла, разделении их на хроматографической колонке с последующим обнаружением пламенно-ионизационным детектором таких компонентов, как фурфурол, 2-ацетилфуран, 5- метилфурфурол и фурфуриловый спирт.

Подготовка трансформаторного масла производится с помощью экстракции. Проводится в стеклянных медицинских шприцах на 20 мл при соотношении объемов масла и экстрагента 20:1. Причем для определения фурановых производных экстракция проводится как с целью отделения определяемых соединений от компонентов масла, так и с целью повышения чувствительности анализа [5–6].

Литература

1. Липштейн, Д. А. Трансформаторное масло / Д. А. Липштейн. – М.: Энероиздательство, 1983.

2. Львов, Ю. Н. Количественная оценка содержания фурановых веществ и присадки ионола в изоляционных маслах / Ю. Н. Львов // Электрические станции. – 1998. – № 1.

3. Львов, Ю. Н. Применение тонкослойной хроматографии при определении микроколичеств фурановых производных в изоляционном масле электрооборудования / Ю. Н. Львов, Н. А. Писарева, Ю. М. Сапожников// Электрические станции. – 1993. – № 8.

4. Диагностика трансформаторного масла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://silovoytransformator.ru.

5. Карташова, А. Л. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле хроматографическим методом с использованием новых сорбентов / А. Л. Карташова, В. Ф. Новиков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 1-2. – С. 47–52.

6. Карташова, А. Л. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле / А. Л. Карташова, В. Ф. Новиков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 1-2. – С. 138–145.

УДК 658.26

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

ПАНОВ Д.Ю., ДЕНИСОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ДЕНИСОВА А.Р.

В рассматриваемой статье предлагается программа энергосбережения, которая состоит из перечня беззатратных и низкозатратных, среднезатратных и высокозатратных мероприятий по таким разделам как электро-, тепло- и водоснабжение.

Расходы на содержание коммунально-бытовых нужд оплачиваются государством из средств местного бюджета, в связи с этим проблема становится актуальной, т.к. экономия средств и их грамотное распределение приведут к тому, что условия образования и жизни заметно улучшатся.

Приведенная в статье программа энергосбережения полностью окупает себя и дает возможность всем школам развивать свою энергетическую эффективность и безопасность вне зависимости от бюджетного финансирования, сократив свои расходы на 15–30 %.

Энергосбережение считается актуальным и нужным условием нормального функционирования муниципальных учреждений, так как поднятие эффективности применения ТЭР при росте цен электрической и тепловой энергии позволяет достигнуть существенной экономии. Нерациональное использование и потеря энергии и воды приводят к потере до 20 % тепловой энергии, до 15 % электрической энергии и 15–20 % воды. Соответственно это приводит к росту бюджетного финансирования на учреждение. Программа энергосбережения должна обеспечить снижение потребления ТЭР и воды за счет внедрения в учреждение предлагаемых данной программой решений и мероприятий для перехода на экономичное и рациональное расходование ТЭР.

В процессе исследования выявлена необходимость внесения коррективов в закон о «Коммунальных услугах» Статьи № 223 с целью мотивации и личной заинтересованности руководителей школ в модернизации имеющегося оборудования и систем энергообеспечения. Предлагается все сэкономленные при энергосбережении средства оставлять в школах и расходовать на ремонтные работы и закупку дополнительного оборудования. Ввести дополнительные поощрения руководителям школ и ответственным за энергосбережение лицам при успешной реализации программы.

В работе обсуждена проблема халатности работы в некоторых школах при капитальном ремонте, а так же выявлены слабые с точки зрения эффективного энергоснабжения места.

Уникальность и новизна программы состоят в том, что она создана исключительно для средних общеобразовательных учреждений с целью повысить их энергоэффективность, подходит для абсолютно любой школы, составленна в доступной и понятной форме.

Практическая значимость заключается в применении готового актуального шаблона энергосберегающих мероприятий, созданного для учредителей и руководителей школ, а также в том, чтобы осветить некоторые законодательные статьи по поводу мотивации энергосбережения.

Все методы энергосбережения, описываемые в работе, применимы в соответствии с приоритетными направлениями конкурса. Применять данные мероприятия можно уже сегодня, ведь они практичны и некоторые из них не требуют больших вложений, а некоторые и вовсе беззатратны. При грамотном распределении ресурсов и следовании программе можно перейти к среднезатратным мероприятиям примерно через 1–2 года, а после этого, через 4–5 лет, – к высокозатратным.

Литература

1. Денисова, А. Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие / А. Р. Денисова, Н. В. Роженцова. – 2009. – 239 с.

2. Методические рекомендации по пропаганде и популяризации энергосбережения в бюджетной сфере / Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Москва. – 43 с.

3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ.

4. Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года: указ Президента РФ от 7 мая 1995 г. № 472.

5. Типовая методика комплексных энергетических обследований объектов образовательных учреждений / В. Р. Атоян [и др.]. – Саратов: СГТУ, 2002.

УДК 66.042.88

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

СУХАНОВА К.В., ПГТУ, г. Йошкар-Ола

Науч. рук. канд. техн. наук МЕДЯКОВ А.А.

Цель работы – изучить особенности работы тепловых аккумуляторов с фазовыми переходами, определить перспективы использования их в энергетике.

Тепловой аккумулятор – устройство для накопления тепла с целью его дальнейшего использования. Применяется в индивидуальных домах, квартирах и в промышленности (например, для запаса тепловой энергии на ТЭЦ), а также для запуска двигателей.

Аккумуляторы тепловой энергии подразделяются на три вида:

– емкостные теплоаккумуляторы;

– аккумуляторы, использующие скрытую теплоту фазовых переходов;

– аккумуляторы, основанные на поглощении теплоты в процессе обратимых химических реакций.

Накопление тепловой энергии значительной мощности осуществляется при помощи теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП).

В данных тепловых аккумуляторах происходит плавление теплоаккумулирующего вещества, которое в процессе плавления получает теплоту, то есть применяется скрытая теплота фазового перехода, которая накапливается в момент перехода из одного агрегатного состояния в другое.

Одним из показателей тепловых аккумуляторов является энергетическая емкость, которая определяется агрегатным состоянием теплоаккумулирующего вещества, а не подводимой температурой.

ТАФП функционирует за счет процесса плавления и кристаллизации теплоаккумулирующего материала в определенные моменты времени, при этом в зависимости от процесса аккумулятор либо накапливает тепловую энергию, либо отдает.

Тепловой аккумулятор подразумевает три режима эксплуатации: зарядки, хранения и разрядки.

Основным параметром теплового аккумулятора является средняя температура теплоаккумулирующего материала в определенный момент времени.

Процесс хранения теплоты подразумевает два периода. Первый – охлаждение теплоаккумулирующего вещества, находящегося в жидкой фазе, начиная от начальной температуры, которая равна окончательной температуре теплоаккумулирующего вещества в процессе зарядки, до температуры, которая равняется температуре фазового превращения. Второй – процесс кристаллизации теплоаккумулирующего вещества при равенстве температур фазового перехода и плавления в связи с тем, что главную роль играет первый период, то хранение тепловой энергии следует рассматривать в промежутке температур от температуры фазового превращения до окончательной температуры в процессе зарядки.

Тепловые аккумуляторы с фазовыми переходами наиболее перспективны в наше время, поскольку позволяют экономить не возобновляемые топливные ресурсы, которых становится с каждым днем меньше, а также позволяют повысить надежность систем теплоснабжения при минимальных затратах.

Литература

1. Предпусковая подготовка двигателей внутреннего сгорания при технической эксплуатации транспортных машин [Электронный ресурс] / П. В. Дружинин [и др.] // Научная электронная библиотека Киберленинка. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-protsessa-hraneniya-teploty-v-teplovom-akkumulyatore. – (Дата обращения 13.03.2016).

2. Дружинин, П. В. Математическая модель процесса хранения теплоты в тепловом аккумуляторе [Электронный ресурс] / П. В. Дружинин, А. А. Коричев, И. А. Косенков // Научная электронная библиотека Киберленинка. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-protsessa-hraneniya-teploty-v-teplovom-akkumulyatore. – (Дата обращения: 13.03.2016).

3. Лыков, А. В. Теория теплопроводности: учебное пособие для вузов / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

4. Агеев, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: курс лекций / В. А. Агеев. – Казань: КГЭУ, 2006.

5. Гулиа, Н. В. Накопители энергии / Н. В. Гулиа. – М., 1980.

УДК 532.5

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУЧКА ТРУБ КОРИДОРНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПОТОКЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

ЧИРУХИН К.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преподаватель ХАЙБУЛЛИНА А.И.

Возможность интенсификация теплообмена при помощи наложения принудительных колебаний теплоносителя на поток жидкости в коридорном пучке труб показана в работе [1] в ходе экспериментальных исследований. Однако при интенсификации теплообмена необходимо учитывать увеличение гидравлического сопротивления, которое в свою очередь влечет дополнительные затраты на прокачку теплоносителя. Поэтому необходимо учитывать теплогидравлическую эффективность η способа интенсификации. В данной работе была предложена методика оценки эффективности при применении пульсаций для повышения теплоотдачи элементов теплообмена.

Для оценки эффективности методов интенсификации при стационарных течениях используется коэффициент теплогидравлической эффективности Кирпичева:

$$E = q / N, \tag{1}$$

где q – удельный теплосъем, Вт/м^2; N – удельная мощность прокачки теплоносителя, Вт/м^2:

$$N = \Delta p \cdot v = \xi \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot v = \xi \frac{\rho \cdot v^3}{2},$$

здесь Δp – перепад давления в пучке труб, Па; v – средняя скорость жидкости в пучке, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Мощность на прокачку теплоносителя в пучке труб при пульсирующем течении осредняется за период пульсации T_p, с:

$$N_p = \frac{1}{T_p}\int_0^{T_p} \Delta p_{p(t)} v_{p(t)} dt. \qquad (2)$$

где $\Delta p_{p(t)}$ – мгновенные значения перепада давления при пульсирующем потоке в пучке труб, Па; $v_{p(t)}$ – мгновенные значения скорости при пульсирующем потоке, м/с [2]; t – время, с.

Эффективность метода интенсификации также можно оценить с помощью удельного коэффициента теплогидравлической эффективности при условии $\mathrm{Re}_p = \mathrm{Re}_{st}$ (фактор аналогии Рейнольдсов (ФАР)) в форме

$$\eta = E_p / E_{st} = (\mathrm{Nu}_p / \mathrm{Nu}_{st}) / (\xi_p / \xi_{st}), \qquad (3)$$

где Re_{st}, E_{st}, Nu_{st}, ξ_{st} – числа Рейнольдса, коэффициент эффективности Кирпичева, число Нуссельта и гидравлическое сопротивление в канале со стационарным течением, Re_p, E_p, Nu_p, ξ_p – среднее за период пульсаций числа Рейнольдса, коэффициент эффективности Кирпичева, число Нуссельта и эквивалентное гидравлическое сопротивление в канале при пульсирующем течении.

Числа $\mathrm{Re}_p, \mathrm{Re}_{st}, \xi_p, \xi_{st}$ находим по формулам [2].

Наиболее рационально с практической точки зрения оценивать эффективность методов интенсификации теплообмена по значению теплосъема с единицы поверхности при равных удельных мощностях, затрачиваемых на преодоление гидравлических потерь $N_{st} = N_p$

$$E_N = \frac{\mathrm{Nu}_p / \mathrm{Nu}_{st}}{\left(\xi_p / \xi_{st}\right)^{\frac{m}{3}}}, \qquad (4)$$

где m – показатель степени при числе Re в критериальном уравнении для расчета теплоотдачи при пульсирующем течении (уравнение (5)).

Теплоотдача в коридорном пучке труб при пульсирующем течении может быть найдена по следующей зависимости [3]:

$$\mathrm{Nu}_p = 3{,}05 \cdot \mathrm{Re}_{st}^{0{,}42} \cdot (\beta \mathrm{Sh})^{0{,}2}. \quad (5)$$

С помощью данной методики по результатам численного моделирования была рассчитана теплогидравлическая эффективность η пучков труб коридорного пучка труб при наложении на поток жидкости противоточных несимметричных пульсаций, что позволило оценить эффективность пульсаций при интенсификации теплообмена в коридорном пучке труб. Расчеты теплогидравлической эффективности η в пульсирующем течении проводились для диапазонов чисел Рейнольдса Re $100 \le \mathrm{Re} \le 900$, частот $0{,}125 \le f \le 0{,}5$ Гц, безразмерных относительных амплитуд пульсаций $1{,}25 \le \beta \le 4{,}5$ и произведения β на числа Струхаля Sh $0{,}026 \le \beta\mathrm{Sh} \le 2{,}5$. В качестве теплоносителя рассматривалась вода с числами Прандтля $\mathrm{Pr} \approx 5{,}5$.

В результате расчетов было выявлено, что с увеличением чисел Re происходит увеличение η независимо от амплитуды β и частоты пульсаций *f*. При увеличении произведения βSh происходит снижение η во всем диапазоне произведения βSh независимо от чисел Re. Максимальное значение теплогидравлической эффективности $\eta = 0{,}62$ наблюдается при минимальных Re = 100 и βSh = 0,026.

Литература

1. Хайбуллина, А. И. Экспериментальное исследование внешней теплоотдачи при поперечном обтекании коридорного пучка труб при Re ≤ 500 с наложением на поток низкочастотных несимметричных пульсаций / А. И. Хайбуллина, В. К. Ильин // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2014. – № 1-2. – С.11–19.

2. Хайбуллина, А. И. Теплогидравлическая эффективность пучков труб при наложении на поток низкочастотных пульсаций / А. И. Хайбуллина, К. В. Чирухин // Энергосбережение. Наука и образование: сб. докл. – Набережные Челны, 2017. – С. 164–169.

3. Хайбуллина, А. И. Теплообмен в проточном канале с пучком труб коридорного расположения при наложении на поток жидкости противоточных низкочастотных несимметричных пульсаций / А. И. Хайбуллина, А. Р. Хайруллин, В. К. Ильин // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2016. – № 11-12. – С. 64–75.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТЭС И ЖКХ

Абрамов А.А. Получение топливных характеристик для энергоустановки «ГТЭ6П-П102» при нагрузках, близких к минимальным…… 3
Аверин Н.И. Аэродинамическое совершенствованиие лопаточного аппарата ГТУ ……... 5
Али Язид С.С. Опреснение морской воды установкой обратного осмоса…… 6
Ахметова Р.В. Сжигание обводненного мазута в котлах ТЭС…….. 7
Губарев А.Ю. Перспективные поверхности нагрева вращающихся регенеративных воздухоподогревателей……... 8
Ершов В.Е. Повышение эффективности использования газотурбинной установки с помощью впрыска воды перед компрессором……. 12
Ивков Е.А., Сбитнев А.А. Разработка стабилизаторов потока для трубопроводных систем…..…… 15
Кириллова Н.А., Саитов С.Р. Применение метода ИК-спектрометрии при выявлении характера отложений на обратноосмотических мембранах…… 17
Колмаков Р.М. Разработка топливной характеристики энергетического блока ПГУ-325 при нагрузках ниже номинальных значений……. 18
Лукьянова К.Н. Разработка программного продукта по расчету упругой линии рабочих лопаток…… 21
Мамлеева А.Р., Виноградов А.С. Анализ установок, применяемых для перемешивания циркуляционных вод ТЭС и АЭС в прудах-охладителях…….. 22
Манигомба Ж.А. Исследование термохимической конверсии биомассы для получения различных видов топлив……..... 23
Мингазов Р.Р., Матвеев С.А. Применение VR-технологии на ТЭС в подготовке обслуживающего персонала…… 25
Мингалеева Л.М. Внедрение индивидуальных тепловых пунктов в многоквартирных домах……... 27
Минибаев А.И., Мамлеева А.Р. Создание замкнутых бессточных малоотходных систем водопользования с применением электромембранных технологий на ТЭС и предприятиях топливно-энергетического комплекса…….. 28
Павлычев С.А. Разработка газовой турбины с рабочим телом диоксид углерода…… 29

Печенкин А.В., Власова А.Ю. Выбор методов снижения сульфатосодержащих продуктов в сточных водах водоподготовительной установки Ново-Салаватской ТЭЦ……... 30
Просвирнина Д.В. Способ снижения выбросов диоксида углерода из башенной испарительной градирни…….. 32
Соловьев М.М. Определение оптимального значения коэффициента избытка воздуха за ГТУ-6П для проектных условий эксплуатации котла-утилизатора П-102 при различных климатических условиях….. 33
Уфанюкова О.С. Инновационные технологии при поставке электрической энергии……. 36
Хусаинов К.Р. Способ вторичного перегрева водяного пара в парогазовой установке утилизационного типа…… 38
Шлёнкин Р.Ю. Моделирование и оптимизация работы газовоздушного тракта котельной установки……... 42
Яшагин С.Д., Шамсиев Р.Р. Использование RFID-технологий в домофонных системах…….. 43

Секция 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Ахмерова Л.Р. Иследование возможностей культивирования цианобактерий в лабораторных условиях……... 46
Ахметова Д.Р. Буффало как объект выращивания на теплых водах ГРЭС…….. 48
Ашрафзянова А.А. Оценка перспектив использования отходов птицеводства в кормопроизводстве для рыб……... 51
Бабикова В.В. Прспективы выращивания растительноядных рыб в прудах питомника «Биосфера» в Республике Татарстан…….. 53
Васильева В.С., Гарашко Е.А. Исследование возможностей применения окислительно-восстановительного потенциала в рыбном хозяйстве……... 56
Гайнетдинова А.И. Заболевания осетровых при выращивании их в установках с замкнутым циклом водооборота…….. 58
Гатауллина Р.З. Оценка качества вод водоема парковой зоны «озеро Харовое» в г. Казани по индексу Y…… 61
Занозеев Р.В. Исследование возможностей и способов моделирования теплового воздействия на замкнутые водоемы…… 63
Идрисова И.И. Получение стабильных форм аскорбиновой кислоты методом механохимической интеркаляции для применения в качестве кормовых добавок в рыбоводстве…….. 64

Исмагилов Ф.А. Особенности жизни молоди форели в условиях УЗВ... 67
Калайда А.А. Перспективы применения в кормах осетровых рыб кормовой добавки «Винивет»……. 69
Матылицкая Е.Ю. Алиментарные заболевания рыб в условиях замкнутого водооборота…….. 71
Мерзлякова В.М. Влияние металл/углеродных нанокомпозитов на суммарную антиоксидантную активность водных экстрактов образцов лилий……. 74
Садыкова Л.Н. Речные раки в водоемах Республики Татарстан…….. 77
Хамитова М.Ф., Арефьев И.И. Перспективы выращивания стерляди в установке с замкнутым водообеспечением ООО «Биосфера-фиш»… 79
Хамитова М.Ф., Цыганов Р.А. Оценка эффективности применения кормовой добавки в индустриальном рыбоводстве……. 82

Секция 3. ТЕПЛОФИЗИКА

Агапитова А.С. Исследование динамики жидкой фазы в аппаратах вихревого типа……. 85
Баширова Э.И. Оценка перспектив централизованного теплоснабжения……...…….. 87
Баширова Э.И. Эффективный радиус теплоснабжения……. 89
Васильев Т.В., Гареева И.С., Халитова М.Ф. Оценка интенсивностей полос в ИК-спектрах молекул $ЭХ_3$…… 92
Вашурина А.В. Интенсификация котлов малой мощности……... 94
Ву Линь Нгуен. Определение эффективности первой ступени прямоугольного сепаратора в зависимости от геометрических размеров... 96
Галиев А.А. Определение влияния угла наклона и расположения пластины в трубе на эффективность сепарации эмульсии…….. 99
Гареева И.С., Васильев Т.В., Халитова М.Ф. О взаимосвязи строения и межмолекулярных взаимодействий в соединениях $ЭХ_3$…….. 101
Десятков И.А. Измерение температуры гетерогенных продуктов сгорания факела в паровом котле БКЗ-210-140Ф, работающем на фрезерном торфе с подсветкой природным газом……... 104
Дмитриев В.А., Зинуров В.Э. Моделирование процесса улавливания мелкодисперсных частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах……... 106
Дмитриева Е.С., Грачева Ю.А. Гидравлическое сопротивление неизотермических потоков газа……. 108

Имамиева З.Р. Интенсификация пленочных течений в тепломассообменных аппаратах…… 110
Кабаков П.А., Платонов Д.В., Литвинов С.Н. Разработка математической модели теплообмена цифрового трансформатора с окружающей средой для условий интенсивной инсоляции……... 112
Казаринов О.В. Расчёт зоны суффозионного массопереноса от линейного источника в грунте ограниченной глубины……. 114
Каримов Т.М., Мухаммадиев А.Д., Гильмутдинов И.И. Экспериментальное исследование процесса окисления алюминия в среде суб- и сверхкритической воде…… 116
Комаров К.А., Константинов А.Д. Экспериментальное определение интегральной степени черноты поверхностей металлических образцов... 118
Литвинов С.Н., Платонов Д.В., Кабаков П.А. Физическое моделирование теплового состояния элемента резистивного делителя при интенсивных теплопоступлениях……. 121
Медведева П.В. Расчет эпюры стоячих волн давления…….. 123
Мухаммадиев А.Д., Каримов Т.М., Гильмутдинов И.М. Исследование растворимости гидрохлорида лидокаина в сверхкритическом диоксиде углерода динамическим методом…….. 124
Пророкова М.В. Моделирование турбулентности при прогнозировании параметров микроклимата в программно-вычислительном комплексе ANSYS FLUENT……... 126
Соколова У.А. Численное моделирование ламинарного потока жидкости в каналах различной формы поперечного сечения…… 128
Султанова А.Ф. Численное моделирование влияния пространственного распределения дисперсной фазы на параметры ударной волны в газовзвеси……..... 130
Файзуллина А.И. Расчет параметров эффективного горения природного газа……..... 133
Хайрутдинов М.А. Расчет траектории движения капли, движущейся в топливном факеле в центробежной форсунке……... 135
Хафизова А.И. Определение коэффициента теплоотдачи от свободной поверхности струйно-пленочного элемента к потоку газа…….. 137
Хусаинов Р.Р. Определение качества фильтра на основе расчета перепада давления газа и эффективности осаждения аэрозольных частиц…… 139

Хусаинов Р.Р., Антипин А.В. Исследование процессов гидродинамики и массообмена в гранулированных и пористых катализаторах…….. 142
Хуснутдинов Р.Р. Зависимость времени горения топлива от давления... 144
Чугунов А.А. Интенсификация процесса горения газового топлива.... 146
Шафиков Д.Р. Расчёт коэффициента аспирации частиц в коническом пробоотборнике……... 148

Секция 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Алимкулова С.Р. Эффективность применения автоматизированного индивидуального теплового пункта……... 150
Биктагирова Г.Г. Применение фреоновой турбины на геотермальных источниках……..... 152
Бударина О.А., Джафарова С.Ф. Сравнение эффективности установки котлов на котельных малой мощности……... 153
Габдуллазянова А.А. Оптимизации котельных в Республике Татарстан... 155
Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Методы контроля местоположения заглубленных трубопроводов……. 157
Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса…….. 160
Гафуров А.М., Хакимуллин Б.Р., Гафуров Н.М. Способ утилизации тепловых отходов промышленности для выработки электроэнергии… 163
Гумеров И.Р. Энергетические установки на базе топливных элементов... 166
Гурьянов М.В. Высокооктановые виды топлив…….. 167
Джафарова С.Ф., Бударина О.А. Применение тепловых насосов для повышения эффективности работы системы теплоснабжения от блочно-модульной котельной…….. 170
Додонов В.А. Бессточная система – вариант водосберегающей технологии системы водоснабжения промышленного предприятия…. 171
Загретдинова А.Р. Отвод продуктов сгорания в котлоагрегатах конденсационного типа……... 173
Ильин Д.В. Повышение энергоэффективности технических систем зданий……... 175
Исмаилова Г.М. Геотермальные источники для теплоснабжения дома... 177
Калачев Н.А., Каюмов Р.Ф. Повышение энергетической эффективности газоснабжения предприятия……. 179
Калинина М.В. Проблемы эксплуатации солнечного коллектора для систем отопления и горячего водоснабжения индивидуального жилого дома в Республике Татарстан……..... 181

Каряжников К.А. Разработка технических решений по оптимизации работы котельной с целью повышения экономичности…….. 183
Каюмов Р.Ф., Калачев Н.А. Повышение эффективности теплоиспользования на сахарном заводе…… 185
Курицына К.С. Аккумулирование тепла научно-исследовательской станции на Луне……... 187
Музюкова Д.С. Подключение трансформатора теплоты к сушильной установке в целлюлозно-бумажном производстве……... 189
Мукатдаров А.А. Неразрущающий контроль металла……... 191
Мустаев Д.В., Зайнуллин М.Х. Использование альтернативного вида топлива на ТЭЦ…… 193
Насибуллин А.М. Определение тепловой эффективности воздухоподогревателя регенеративного типа…… 195
Нигматулина А.Ф. Особенности технической диагностики трубопроводов методом акустических колебаний……. 197
Парфенов Г.И., Ангелов В.И., Лапатеев Д.А. Экспериментальные исследования теплового режима работы цифрового трансформатора для летних условий эксплуатации……. 199
Пустынников С.В. Коррозия газопровода. Последствия и пути решения защиты от коррозии…….. 201
Сабирова Л.Р. Особенности применения индивидуальных тепловых пунктов в городе…….. 203
Сафуанов Т.И. Применение конденсационного экономайзера для улучшения технико-экономических показателей котельной с котлами ПТВМ…… 205
Тазеев И.Р. Проектирование ротора ГТД-16М и расчет собственных частот колебаний в программном комплексе ANSYS……. 208
Таймаров М.А., Чикляев Е.Г. Теплота сгорания смесей метано-водородной фракции при различных составах……. 211
Федоров М.А. Трансформатор теплоты в системе отопления здания... 213
Харитонов В.А., Максимов В.А., Сердцев С.С. Нормирование потребления энергоресурсов при производстве тепловой энергии на котельных…… 215
Харитонов В.А., Максимов В.А., Сердцев С.С. Методы повышения энергетической эффективности работы водогрейных котельных…….. 216
Хафизов Р.Г. Энергетическая установка в ближнем космосе на основе двигателя Стирлинга……... 217

Храмова Е.В. Использование сбросной теплоты различного потенциала в химической промышленности…….. 220
Чанчин К.В. Применение нейронных сетей в диагностике трубопроводов в ППУ изоляции…… 221
Шарифуллина А.Р., Ибадов А.А. Проектирование арт-объекта «Тюльпан» для демонстрации использования возобновляемых источников энергии……... 223

Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Аминова М.Р., Борисова О.В. Микропроцессорная система управления системой централизованного пылеудаления жилого многоквартирного дома……. 226
Ахмадуллин А.М. Численное моделирование влияния внутренних конструктивных элементов сепаратора на разделение эмульсии……... 227
Баянов А.И. Создание приложения для определения устойчивости систем автоматического регулирования по алгебраическому критерию Шур-Кона……. 228
Баянов А.И., Мухамедзянов Ш.Т. Разработка алгоритма пульсирующего управления частотным приводом насоса…….. 230
Валеев З.Н., Шумаев Т.А. Вибромониторинг центробежного насоса... 232
Галеев К.И., Галеева А.Э. Применение IOT-технологий в системах автоматизированного управления…….. 233
Гатин И.Р. Разработка программного приложения для развития профессиональных компетенций на основе внутреннего потенциала учащегося……. 234
Герасимов Е.И., Хазиев Н.Н. Создание учебного стенда «АСУ отопительного контура»……..……... 237
Крылов П.Д., Михайлов А.В. Симуляция энергосберегающей транспортировки жидкости с помощью частотного регулирования насоса……..... 238
Кузьмин Е.А. Применение информационного подхода для оценки точности результата измерений……. 240
Лузанов О.И., Маямсин В.И. Алгоритмы и программа управления насосной станцией……... 243
Львова О.А. Автоматизация как средство повышения технологической безработицы……. 245

Магадеев Р.А., Калимуллин А.А. Интеллектуальное управление системами кондиционирования воздуха……... 248
Матюшкин Д.А. Синергетическая концепция в теории управления… 250
Набиуллина М.Ю. Использование метода регулярного теплового режима для установки с ограниченным объемом жидкости……... 253
Пушин Д.В., Гунько М.С. Линеаризация математической модели процесса аэрации сточных вод в сатураторе поверхностного типа как объекта управления по методу малых отклонений……..……... 255
Нгуен Тиен. Моделирование нестационарных тепловых режимов трансформатора в программном комплексе Ansys Maxwell……... 259
Рахматуллина Г.Ф. Автоматизированная информационная система технической поддержки служб предприятия…… 260
Рябых И.А., Муратов Р.М. Разработка тренажерного комплекса на основе технологии виртуальной реальности……... 262
Сафин И.Н. Управление системой приточной вентиляции на основе нечеткой логики……... 264
Семенова Ю.О., Зинуров В.Э. Моделирование процесса сгорания природного газа в котле при изменении внешнего диаметра камеры сгорания…… 265
Семенова Ю.О., Шакирова К.Н. Система непрерывного контроля и регулирования вредных выбросов на ТЭЦ МЭИ…….. 267
Тарасов А.И., Фатыхов А.Ф. Автоматизация системы управления климатом спортивного объекта…….. 269
Хазетдинова А.Д. Исследование сгорания углеводородного топлива в топке газового котла……. 271
Халлыев И.А., Галиев А.И. Использование углеродных нанотрубок в теплонасосной системе отопления…….. 272
Хасаншин А.Р. Система непрямого сухого охлаждения Геллера для электростанций……. 274
Хафизова А.И., Дмитриев В.А. Скорость стекания жидкости в струйно-барботажных контактных устройствах…… 276
Шатских В.О. Применение метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов для управления нелинейными объектами... 277

Секция 6. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА, КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Галькеева А.А. Технико-экономическая эффективность бескислородной газификации…….. 281
Заббаров С.Ф. Эффективнсть котлов-утилизаторов малой мощности. 284
Зинуров В.Э. Дозировачное устройство для транспортировки мелкодисперсной присадки на ТЭС……. 286
Иваницкий М.С. Совершенствование методики отбора пробы бенз(а)пирена из газохода энергетического котла многоточечными зондами……. 288
Комаров М.В., Комарова Е.А., Тувакина З.А. Исследование ГТУ для получения воды из воздушного бассейна с целью развития их применения в передвижных комплексах……. 290
Лебедева Ю.В. Опыт утилизации сточных вод после химических очисток котлов на тепловых электростанциях……. 293
Мракин А.Н., Сотников Д.Г. Оценка характеристик энергосиловой установки, интегрированной в комплекс с парциальным окислением углеводородного сырья……... 296
Нгуен Дык Тоан, Фам Данг Нят. Эффективность паротурбинных мини-ТЭС, работающих на угле…… 300
Пятыгина М.В. Эффективность процесса термической переработки угля с отводом промежуточных продуктов…….. 302
Таймаров М.А., Салтанаева Е.А. Современные технологии сжигания в котлах ТЭС мазута с высоким содержанием воды……... 305
Федорова А.Ю. Лабораторная проверка моющих свойств кислотных реагентов для эксплуатационных химических очисток паровых котлов... 307
Храмова А.И. Коррекционная обработка сетевой воды ингибиторами солеотложения……. 309
Чурилов А.С., Мустаева Э.Ш. Анализ зависимости динамической вязкости мазута от температуры при воздействии ультразвука……. 311

Секция 7. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ, НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Бадретдинова Г.Р. Исследование интенсивности теплообмена коридорных пучков труб при наложении низкочастотных пульсаций…….. 314
Гиниятуллина Э.И., Абзалова Л.А., Миннуллин Б.И. Перспективные нетрадиционные виды энергии для сельского хозяйства…… 317

Грачева Ю.А., Дмитриева Е.С. Энергосбережение в паровых теплообменных устройствах путем залива конденсатом части поверхности теплопередачи……... 320
Исламова Г.Н. Подбор бака-аккумулятора для горячего водоснабжения с использованием гелиоустановки……. 322
Козлова М.В. К определению условий работы устройства для утилизации потерь в канале теплотрассы…….. 323
Леоненко А.С. Энергосбережение при индукционном нагреве…… 327
Местников Н.П. Децентрализованная система электроснабжения малочисленных населенных пунктов Арктической зоны Якутии с использованием гибридных станций с солнечными панелями и суперконденсаторами…….. 330
Муртазина Г.Р. Адсорбционная способность цеолитсодержащих пород и динохрома…….. 332
Нагимова Э.В. К выбору конструкции тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей подземной прокладки в каналах…….. 334
Павлова Е.Н. Оценка трансформаторного масла на основе хроматографических данных……... 337
Панов Д.Ю., Денисова А.Р. Разработка программы энергосбережения для средних общеобразовательных учреждений……. 339
Суханова К.В. Изучение особенностей работы тепловых аккумуляторов с фазовыми переходами……... 341
Чирухин К.В. Теплогидравлическая эффективность пучка труб коридорного расположения при пульсирующем потоке теплоносителя... 343

Научное издание

XIII МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

Тезисы докладов

24–27 апреля 2018 г.

В трех томах

Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова

Том 2

Редакторы Беркутова М.С., Чемоданова С.Н.
Компьютерная верстка И.В. Краснова
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшина

Подписано в печать 24.04.2018.
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 20,7. Уч.-изд. л. 15,7. Тираж 500. Заказ № 5105.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51