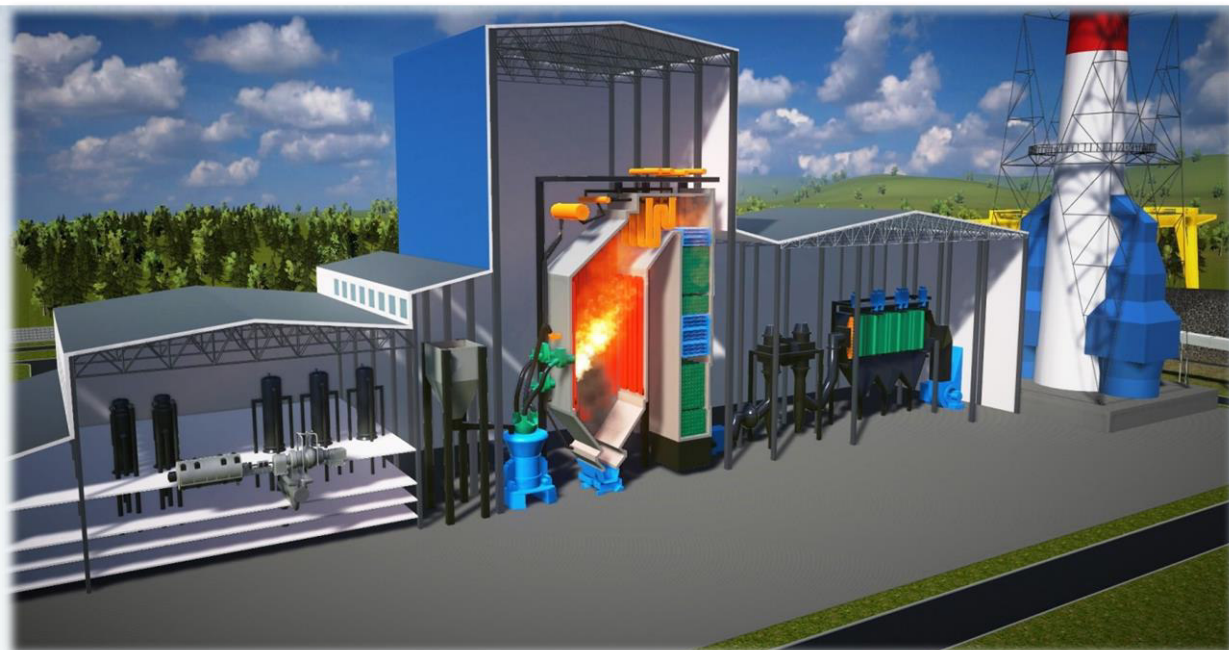
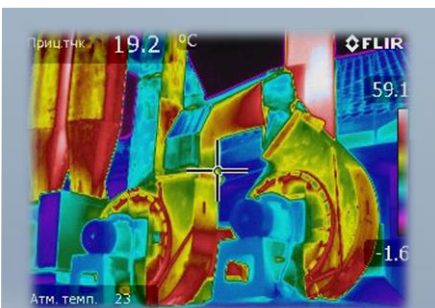
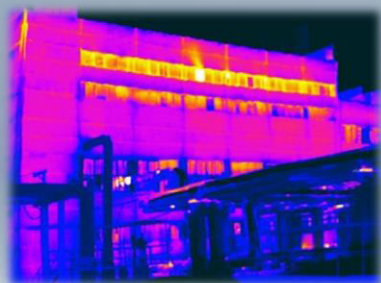




Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
ОАО «Российские железные дороги»  
Омский государственный университет  
путей сообщения

## Материалы всероссийской научно-технической конференции



# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Омск 2019



Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
ОАО «Российские железные дороги»  
Омский государственный университет путей сообщения

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Материалы всероссийской  
научно-технической конференции  
(21 – 22 марта 2019 г.)

Омск 2019

УДК 621.128:662.61.8+621.311.004.24  
ББК 31.38

**Повышение энергоэффективности объектов и систем теплоснабжения:**  
Материалы всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т  
путей сообщения. Омск, 2019. 253 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по комплексу научных направлений, посвященных вопросам развития объектов энергетики и систем теплоснабжения Уральского и Сибирского регионов, республики Крым. В работах рассмотрены и проанализированы основные направления энергосбережения в стационарной энергетике железнодорожного транспорта и промышленных предприятий.

Материалы сборника могут быть полезны научным сотрудникам, специалистам, работающим на предприятиях теплоэнергетического профиля, обучающимся теплоэнергетическим специальностям.

Библиогр.: 164 назв. Табл. 29. Рис. 100.

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, профессор В. К. Гаак (отв. редактор);  
канд. техн. наук, доцент А. П. Стариков;  
канд. техн. наук, доцент А. Ю. Финиченко.

Рецензенты: канд. техн. наук В. З. Дмитриев;  
канд. техн. наук А. Г. Лукьянов;  
доктор техн. наук, профессор А. М. Парамонов.

ISBN 978-5-949-41233-6

---

© Омский гос. университет  
путей сообщения, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <i>Лебедев В. М.</i> Региональные проблемы теплоэнергетики.....  | 5   |
| <i>Куандыкова А. А.</i> Повышение эффективности системы теплоснабжения города Омска путем перевода отдельных отопительных котельных на комбинированное производство энергии..... | 12  |
| <i>Заложный Н. В., Гаак В. К.</i> Обзор газовых турбин для выработки энергии на тепловом потреблении.....  | 17  |
| <i>Каргапольцев П. И., Рацин Е. А.</i> Модернизация схемы регенерации блока фильтрации установки приготовления химически обессоленной воды.....                                  | 27  |
| <i>Привалова Я. А., Финиченко А. Ю.</i> Централизованная система приготовления угля для работы котельных типа «Терморобот».....  | 32  |
| <i>Глухов С. В., Глухова М. В.</i> Система индивидуального горячего водоснабжения на базе солнечного коллектора в климатических условиях Омской области.....                     | 37  |
| <i>Гусаров А. С., Овсянников В. В.</i> Оценка эффективности теплофикационного цикла паротурбинной установки с регенеративным отбором пара.....                                   | 45  |
| <i>Рожкова А. В., Гаак В. К.</i> Повышение энергетической эффективности обработки подпиточной воды теплосети.....  | 54  |
| <i>Кушнарченко А. В.</i> Динамическое нормирование энергоресурсов.....   | 63  |
| <i>Лебедев В. М., Гаак В. К., Сафронова И. Ю., Пушкина А. Е.</i> Нанотехнологии в изготовлении, ремонта и обслуживания деталей энергетических ГТУ.....                           | 69  |
| <i>Купин Д. О.</i> Анализ преимуществ сжигания твёрдого топлива в кипящем слое.....  | 77  |
| <i>Липко М. А., Стариков А. П.</i> Организация эффективного управления поставками твёрдого топлива котельным.....  | 83  |
| <i>Гриневицкий К. А., Глухов С. В.</i> Перевод производственно-отопительной котельной в режим мини-ТЭЦ.....  | 89  |
| <i>Сараев Р. В., Глухов С. В.</i> Использование тепловых насосов на цепи отопления..   | 93  |
| <i>Сумина И. С., Верховская О. В.</i> Оценка эффективности потребления и учёта энергоресурсов на предприятии.....  | 101 |
| <i>Выходцев П. В.</i> Применение газотурбинных авиадвигателей в энергетике...  | 108 |
| <i>Кокшаров М. В., Вивденко Ю. Н., Достовалов Д. Е.</i> Решение конструкторско-технологических задач энергетики методами физического моделирования.....                          | 112 |
| <i>Штиб А. В., Ведрученко В. Р.</i> Химмотологический анализ и выбор газового конденсата как топлива для дизелей.....  | 120 |
| <i>Бейсембаев Д. А.</i> Совершенствование технологического процесса изготовления вспомогательного диска ГТД.....   | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Глухова М. В., Тарута В. Ф., Тарута Д. В.</i> Утилизация вторичных энергетических ресурсов при проведении реостатных испытаний.....  | 131 |
| <i>Кадцын И. И., Стариков А. П., Ведрученко В. Р.</i> Инновационные способы применения геотермального отопления в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений.....              | 138 |
| <i>Стариков О. А., Резанов Е. М.</i> К вопросу повышения эффективности работы центробежных насосов.....   | 146 |
| <i>Рацин Е. А., Каргапольцев П. И.</i> Проблемы и задачи сбережения резервного топлива при использовании газа.....  | 153 |
| <i>Пулиший А. С., Резанов Е. М.</i> Применение парогазовой установки на Омской ТЭЦ-2.....   | 157 |
| <i>Горош В. А., Ведрученко В. Р.</i> Влияние горелочных устройств котлов на вредные выбросы.....  | 162 |
| <i>Ильичёва Е. М., Лукин С. В.</i> Разработка способа сухой грануляции доменного шлака.....   | 169 |
| <i>Журавлева Ю. М., Ригин А. Н., Шестаков Н. И.</i> Моделирование теплотехнологии нанесения покрытий для увеличения эксплуатационного ресурса роликов металлургического производства..... | 176 |
| <i>Поповский С. А., Глухов С. В.</i> Применение тепловых насосов на промышленных предприятиях.....  | 184 |
| <i>Резанов Е. М., Петров П. В.</i> Повышение эффективности энергосберегающего мероприятия по утеплению наружных стен зданий с учетом регулирования отпуска тепловой энергии.....          | 189 |
| <i>Жуков Д. В.</i> О возможности количественного регулирования режимов в действующих системах теплоснабжения.....   | 197 |
| <i>Симак Р. С., Симак Н. Ю.</i> Цифровизация в сфере государственного регулирования тарифов на тепловую энергию.....  | 203 |
| <i>Кузовов Д. М., Резанов Е. М.</i> Использование рекуперации в системах теплоснабжения с применением тепловых насосов.....   | 208 |
| <i>Муравьев Д. А.</i> Сетевое планирование ремонта котельного агрегата.....   | 214 |
| <i>Антипина Д. Ю., Бауэр А. В., Финиченко А. Ю.</i> Методика обезвреживания газовых выбросов котлоагрегатов.....  | 220 |
| <i>Бабинцева В. И.</i> Использование геотермальных источников тепловой энергии для нужд теплоснабжения и выработки электроэнергии в районах крайнего севера.....                          | 228 |
| <i>Глухова М. В., Сапрыгина Э. Е.</i> Бессточные технологии на ТЭЦ.....   | 234 |
| <i>Луговой С. В., Лебедев В. М.</i> Исследование эффективности работы тепловой системы нефтехимического производства.....   | 241 |
| <i>Давиденко В. М., Стариков А. П.</i> Энергоменеджмент на промышленном предприятии.....  | 246 |

**В. М. Лебедев**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск,  
Российская Федерация

## **РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**

*В статье изложены вопросы состояния и развития источников теплоснабжения, систем теплоснабжения. Обращено внимание на значительный моральный и физический износ теплоэнергетического оборудования, снижение температурного графика теплосети. Показано значение перевода промышленно-отопительных котельных на комбинированный способ энергии, внедрения регулирования потребляемой тепловой энергии у потребителей. Выражена критика в части отсутствия настоящей программы развития теплоэнергетики в регионе.*

Ключевые слова: теплоэнергетика, комбинированная выработка энергии, надежность тепловых сетей, топливная политика, автоматизация теплопотребления.

**Vitaliy M. Lebedev**

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **REGIONAL PROBLEMS OF POWER**

*In article questions of a state and development of sources of heat supply, the systems of heat supply are stated. The attention to considerable moral and physical wear of the heat power equipment, decrease in the temperature schedule of a heating system is paid. The value of the transfer of industrial and heating boiler houses to a combined method of energy, introductions of regulation of the consumed thermal energy at consumers is shown. The criticism regarding lack of the present program of development of power system in the region is expressed.*

Key words: power system, the combined power generation, reliability of thermal networks, fuel policy, heatconsumption automation.

С наступлением так называемых «Лихих - 90-х», когда произошёл обвал промышленности, потребление электроэнергии резко снизилось, в результате чего строительство электростанций в России практически прекратилось, за исключением вводимых отдельных энергетических блоков тогда на строящихся электростанциях.

В Омске: не закончена строительством ТЭЦ-5, ТЭЦ-6 начинала строиться в конце 80-х годов, затем строительство её было прекращено и сейчас ТЭЦ-6 не значится в числе вводимых объектов даже на перспективу.

К сожалению, на настоящий момент нет действующей программы по развитию энергетики в нашем регионе. Имеющаяся программа, если её можно назвать программой развития энергетики на перспективу, касается лишь электрической части.

Интересный момент: при разработке градостроительной программы от энергетиков просят – какие мощности будут вводиться, в то же время энергетики говорят – дайте нам программу развития города и области, в том числе по отраслям.

Схема теплоснабжения г. Омска, разработанная проектной организацией «Е4-СибКОТЭС» (г. Новосибирск) до 2030 года с ежегодной актуализацией (сейчас уже до 2033 года), совершенно не включает в себя предложений по развитию региональной теплоэнергетики и, в частности: не предусматривается строительство ТЭЦ-6, нет конкретных предложений по модернизации промышленной теплоэнергетики с переводом действующих котельных (хотя бы частично) на комбинированный способ производства электрической и тепловой энергии, нет и многих других вопросов, решение которых должно обеспечивать жизнеобеспечение промышленности и ЖКХ.

На обращение к проектантам – почему вы в «Схеме теплоснабжения...» не закладываете прогрессивные новые технологии (например, сжигание в кипящем слое, газовые надстройки, ПГУ, перевод ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 на отечественные Канско-Ачинские угли и другие вопросы), нам в ответ: так ведь в городе и регионе нет денег. «Какое ваше дело, что денег нет – это пусть об этом думают чиновники, а вы, проектировщики, закладываете на перспективу прогрессивные технологии».

Рассмотрим ряд проблем, касающихся жизнеобеспечения региона.

#### 1. О топливной политике.

Этот вопрос имеет большое стратегическое значение. В своё время, когда проектировались Омские ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, утвердилось мнение, что угли Канско-Ачинского месторождения, в силу высокого процента горючих летучих, не может транспортироваться по железной дороге в течение суток во избежание его загорания в вагонах.

Это было ошибочное мнение и Омские ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 были запроектированы на угли Экибастузского месторождения с высокой зольностью и высокой абразивностью.

Вопрос до настоящего времени не решён и даже не включён в перспективную схему топливоснабжения Омской энергетики.

Но такой перевод имел бы целый ряд преимуществ:

1.1. Полное использование золы в строительных целях (зольность КАУ-5÷7 %, вяжущее СаО до 16 %) позволяет отказаться от золоотвалов, не строить и не эксплуатировать дорогостоящие системы гидрозолошлакоудаления.

1.2. Внедрение топок с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) позволит значительно снизить вредные выбросы в атмосферу от ТЭЦ.

2. О состоянии и вводе энергетических мощностей.

Важность этого вопроса исключительная.

2.1. ТЭЦ-2 эксплуатируется с физически и морально устаревшим оборудованием.

2.2. На ТЭЦ-3 есть положительные сдвиги: введена в последнее десятилетие ПГУ-90 и в 2018 году введён турбоагрегат мощностью 120 МВт. Однако часть турбоагрегатов, введённых полвека назад, требует вывода из эксплуатации и их демонтажа.

2.3. ТЭЦ-4 потеряла перспективность в дальнейшем её использовании. Снижены технико-экономические показатели из-за резкого снижения подачи пара на нефтекомбинат. Эта ТЭЦ отработала уже более полутора нормативного срока и затраты на реконструкцию ТЭЦ-4, обновление её оборудования становятся выше, чем строительство новой ТЭЦ и этот факт доказывает необходимость строительства ТЭЦ-6 с использованием российских углей (КАУ).

Однако в актуализированной «Схеме теплоснабжения...» предлагается строительство теплотрассы на участке от ТЭЦ-4 через вантовый мост (через реку Иртыш) до новой подкачивающей насосной №16. Стоимость проекта более миллиарда рублей. Реализация этого проекта нереальна.

ТЭЦ-4 после 2025 г. следовало бы вывести из эксплуатации, но при этом необходим ввод энергетических мощностей на ТЭЦ-6.

2.4. Об окончании строительства ТЭЦ-5.

Омская ТЭЦ-5 до настоящего времени не закончена строительством. От ТЭЦ-5 осуществляется теплоснабжение города в объёме порядка 40÷45 %, т.е. ТЭЦ-5 является основным базовым объектом теплоснабжения и требования к надёжности её работы постоянно возрастают.

Учитывая значение ТЭЦ-5, предлагается дальнейшее её развитие (котлоагрегаты №10,11,12 и турбоагрегат №6 мощностью 180/220 МВт) вести путём организации строительства второго ввода топливоподачи, что позволит

перейти на сжигание отечественных углей Канско-Ачинского месторождения (КАУ) в режиме с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС).

Такой перевод имеет ряд преимуществ:

2.4.1. Полное использование золы в строительных целях позволяет отказаться от золоотвалов, не строить и не эксплуатировать дорогостоящие системы гидрозолошлакоудаления.

2.4.2. Внедрение топок с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) позволит значительно снизить вредные выбросы в атмосферу от ТЭЦ.

2.5. О строительстве Омской ТЭЦ-6.

Строительство ТЭЦ-6 в «Схеме теплоснабжения города...» не значит, хотя она ещё фигурировала в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР (1979 г.) «О развитии города Омска» с пуском первого энергоблока в 1983 году. Прошло более 35 лет, как мы «заболтали» этот объект.

Напрашивается вывод: без строительства ТЭЦ-6 у г. Омска будущего нет. Все крупные теплоисточники: ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 сильно изношены, а средств на обновление оборудования нет.

3. О температурном графике теплосети.

Этот вопрос актуален для многих регионов страны: от Урала до Владивостока.

В городе Омске вместо утвержденного графика теплосети 150/70 °С используется 110/70 °С. Для непосвященного человека может показаться, что снижение температурного графика ведёт к экономии топлива, а на самом деле всё наоборот – происходит резкое снижение экономики: возрастают расходы сетевой воды и электроэнергии на её перекачку, увеличиваются тепловые потери.

При снижении температурного графика в ряде микрорайонов где осуществляется элеваторное смешение, обслуживающий персонал самовольно рассверливает на больший диаметр сопла в элеваторах и дроссельных шайбах, или вообще их выбрасывает. Таким образом, вся система теплоснабжения в г. Омске разрегулирована, приводящая порой к неудовлетворительным изменениям в гидравлических режимах тепловых сетей. Всё это приводит к увеличению финансовых средств (на сотни миллионов рублей) и напряжению городского бюджета.

К сожалению, в миллионном по численности населения городе нет специализированного предприятия по наладке тепловых сетей.

4. О надёжности тепловых сетей.

Этот вопрос стал проблемным для всей России в результате недозамены,

недоработки трубопроводов тепловой сети в течение довольно длительного периода.

В Омске, если считать длину теплопроводов в однониточном исчислении, то она составит 2500 км (в диаметрах от 100 до 1200 мм). При нормативном сроке службы теплопроводов 25 лет (что практически не выдерживается) ежегодно должно заменяться не менее 100 км труб, фактически же заменяется в пределах 15-20 км. Вот почему и снижен температурный график до 110/70 °С при нормативном 150/70 °С.

Эту проблему сразу не решить, но она и не должна замалчиваться. Она должна быть в центре внимания и должны быть поиски её решения.

Основная причина износа трубопроводов тепловой сети – наружная коррозия. Встаёт вопрос о неукоснительно выглублении теплотрасс, которые смонтированы на глубине два метра. В лотки теплотрасс из-за непрочности стыков попадают внешние и грунтовые воды, изоляция трубопроводов намокает, под ней образуется язвенная коррозия трубопроводов со всеми её последствиями.

5. О переводе промышленно-отопительных и отопительных котельных в режим комбинированного производства энергии.

Решение этой проблемы позволит экономить топливо в значительных количествах.

Теплоэнергетика Советского Союза в XX веке – это строительство ТЭЦ во всех городах, начиная с количества жителей 50 тыс. чел. и более (особенно от Урала и далее на восток) решение проблем теплоэнергетики – это выполнение программы ГОЭЛРО местного значения.

В Омске более 170 котельных, сжигающие нерационально природный газ.

Если в королевстве Дания ещё в 90-х годах прошлого столетия законодательно принято производить одну гигакалорию тепла комбинированным способом (а это отопление 100-квартирного дома), то в Омске, например, Кировская котельная имеет тепловую мощность 585 гкал/ч и не производит ни одного мегаватта электрической мощности, нерационально сжигая природный газ.

Реконструкция только двух десятков крупных котельных города с переводом на комбинированный способ производства энергии позволит получить дополнительно 250-300 МВт электрической мощности. Это целая электростанция!

Следует заметить, что энергосистема в Омске энергодефицитна, принимает из объединения более 40% электроэнергии.

В перестроечные годы в России отдельный способ производства энергии стал преобладать над комбинированным, что ухудшало экономику энергетики.

6. О внедрении автоматизированных тепловых пунктов у потребителей.

Суть этой проблемы заключается в том, чтобы осуществить переход от качественного к качественно-количественному регулированию теплосети у потребителя в зависимости от температуры наружного воздуха. Может быть достигнута реальная экономия топливно-энергетических ресурсов в размере до 15%, но при обязательном условии – соблюдении нормативного температурного графика теплосети.

Фактически же при выполняемом температурном графике 110/70 °С эта экономия сведена к «нулю».

По ориентировочным данным количество объектов в городе, оборудованных автоматизированными ИТП, составляет порядка 20%.

Во всех управляющих компаниях и ТСЖ должны быть разработаны мероприятия на перспективу по внедрению автоматизированных тепловых пунктов (по ранее введенному жилью). Во вновь вводимых жилых домах установка автоматизированных ИТП должна быть обязательной еще на стадии проектирования.

7. О создании в городе проектной и строительно-монтажной организаций.

В современных городских условиях, когда тепло- и электроэнергетика, в том числе и тепловые электростанции, находятся в кризисном состоянии, проектные разработки при строительстве ТЭС, котельных и тепловых сетей имеют большое значение. В ряд серьезных аналитических документов, состояние электроэнергетики оценивается как критическое. Это подтверждается значительным сокращением ввода новых мощностей на тепловых электростанциях, увеличением удельных расходов топлива, повышением затрат на ремонт и эксплуатацию, приближением физического износа оборудования к пределу.

Кроме того, для воплощения в жизнь передовых научных и проектно-конструкторских идей возникает так же необходимость в создании строительно-монтажных подразделений.

С наступлением перестроечного периода государство не стало

финансировать развитие теплоисточников, переложив на предпринимательские структуры.

Время показало, что из-за инерционности развития электроэнергетики, инвестиции в энергетику, да и в промышленную энергетику, до сих пор не пришли.

В последнее десятилетие стала внедряться новая форма – частно-государственная, но в Омске эта форма пока не приобрела какого-либо развития. К сожалению, и нет программы регионального развития энергетики.

В настоящее время в г. Омске крайне остро ощущается дефицит опытных руководителей и специалистов в области проектирования и строительства объектов энергетики. При длительном отсутствии в энергетическом строительстве крупных регулярных заказов многие организации были существенно ослаблены, потеряли большую часть квалифицированного персонала, а то и вовсе прекратили свою деятельность (например: Западно-Сибирское отделение ВНИПИЭнергопром, Омскэнергомонтаж и др.).

Плановая экономика бывшего СССР с позиций управления процессом разработки проектов строительства и производства строительно-монтажных работ кажется ущербной, но на самом деле благодаря ей накоплен ценный опыт, который ещё надлежит осмыслить и проанализировать в будущем. Разными методами были успешно реализованы как колоссальные проекты общенационального масштаба, так и более мелкие, – и зачастую гораздо эффективнее, чем за рубежом.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Лебедев Виталий Матвеевич**  
Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Доктор технических наук, профессор  
кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: Heatomgups@mail.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Lebedev Vitaliy Matveevich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Doctor of technical Sciences, Professor in the  
Department «Heat power engineering», OSTU.  
E-mail: Heatomgups@mail.ru

**А. А. Куандыкова**

АО «Омские распределительные тепловые сети» (АО «Омск РТС»), г. Омск,  
Российская Федерация

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ОМСКА ПУТЕМ ПЕРЕВОДА ОТДЕЛЬНЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ НА КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ**

*В статье рассмотрен вариант повышения эффективности системы теплоснабжения города Омска за счет модернизации промышленно-отопительных котельных путем сооружения теплофикационных энергоустановок парогазового цикла.*

*Ключевые слова: комбинированная выработка, оценка экономичности теплофикации, капиталовложения, расходы, эксплуатационные затраты, парогазовый цикл, промышленная теплоэнергетика, муниципальная теплоэнергетика*

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE HEATING SYSTEM OF THE CITY OF OMSK BY TRANSFERRING SEPARATE HEATING BOILERS TO COMBINED ENERGY PRODUCTION**

**Ainur A. Kuandykova**

JSC "Omsk heat distribution" (JSC "Omsk RTS"), Omsk, Russian Federation

*The article discusses the option of improving the efficiency of the heat supply system of the city of Omsk due to the modernization of industrial heating boilers by constructing combined heat and power plants of the combined cycle.*

*Key words: combined heat and power plant, combined generation, assessment of the efficiency of district heating, capital investment, costs, operating costs, steam and gas cycle, industrial heat and power, municipal heat and power.*

Омск – административный центр Омской области, входит в число крупнейших промышленных, образовательных и культурных центров России. Город с численностью населения более миллиона человек. Основу промышленности города Омска составляют предприятия машиностроения, нефтепереработки, химической и нефтехимической промышленности, радиоэлектроники, энергетики и др.

Омский регион по потреблению электроэнергии является дефицитным.

Около 40 % электроэнергии потребляется Омской областью из объединенной энергетической системы (ОЭС) Сибири и Казахстана. Динамика потребления электрической энергии Омской области, млн кВт·ч, представлена на рис. 1.

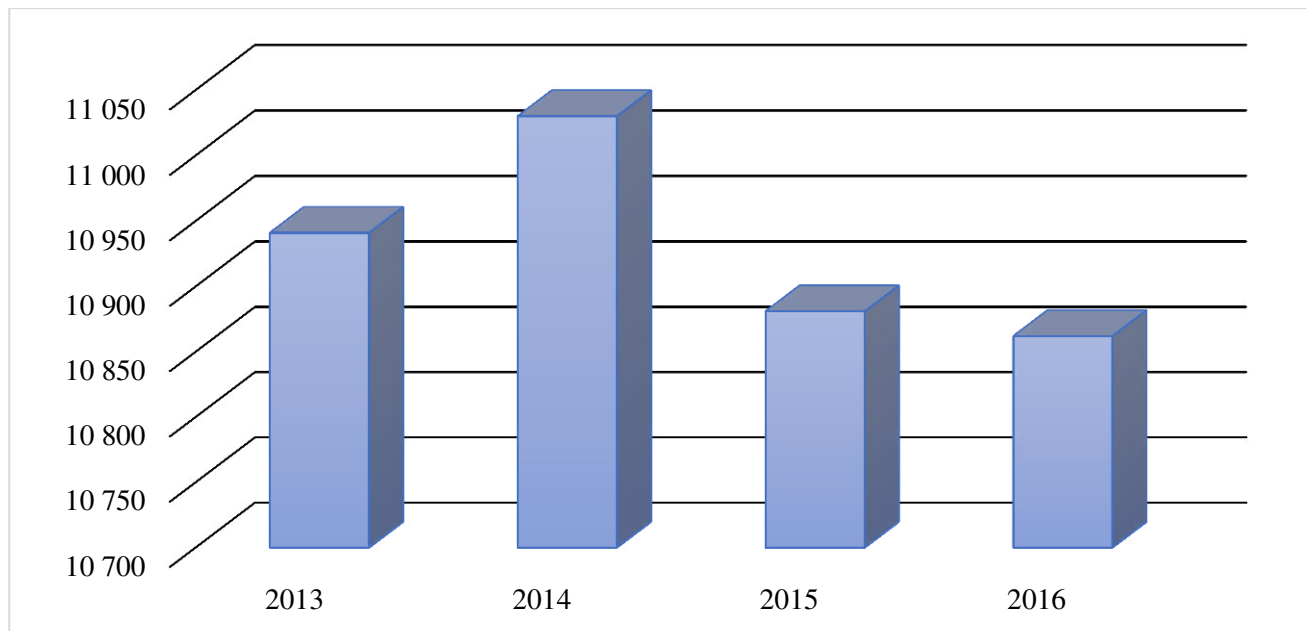


Рис. 1. Динамика потребления электрической энергии Омской областью, млн. кВт·ч

В городе Омске преобладает централизованное теплоснабжение от ТЭЦ, крупных районных и промышленных котельных. Теплоэнергетический комплекс г. Омска на 01.01.2017 г. включает в себя 179 источников теплоснабжения, в т. ч. три ТЭЦ.

Общая установленная тепловая мощность источников города Омска, обеспечивающая балансы покрытия присоединенной тепловой нагрузки на конец 2016 составила 9394 Гкал/ч. Установленная тепловая мощность, обеспечивающая балансы покрытия присоединенной тепловой нагрузки, формируется по источникам в пяти группах по принадлежности, в том числе:

источники АО «ТГК-11» (источники комбинированной выработки тепловой и электрической энергии) – теплоэлектроцентрали (ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5);

котельные АО «Омск РТС» - ТЭЦ-2 и КРК;

котельные МП г. Омска «Тепловая компания» (27 котельных);

котельные ведомственных теплоснабжающих организаций (33 организации, 45 котельных);

ведомственные производственные котельные (102 котельных), принадлежащие 98 организациям, обеспечивающим собственное теплоснабжение.

Доля групп источников в общую тепловую мощность города Омска представлена на рис. 2.

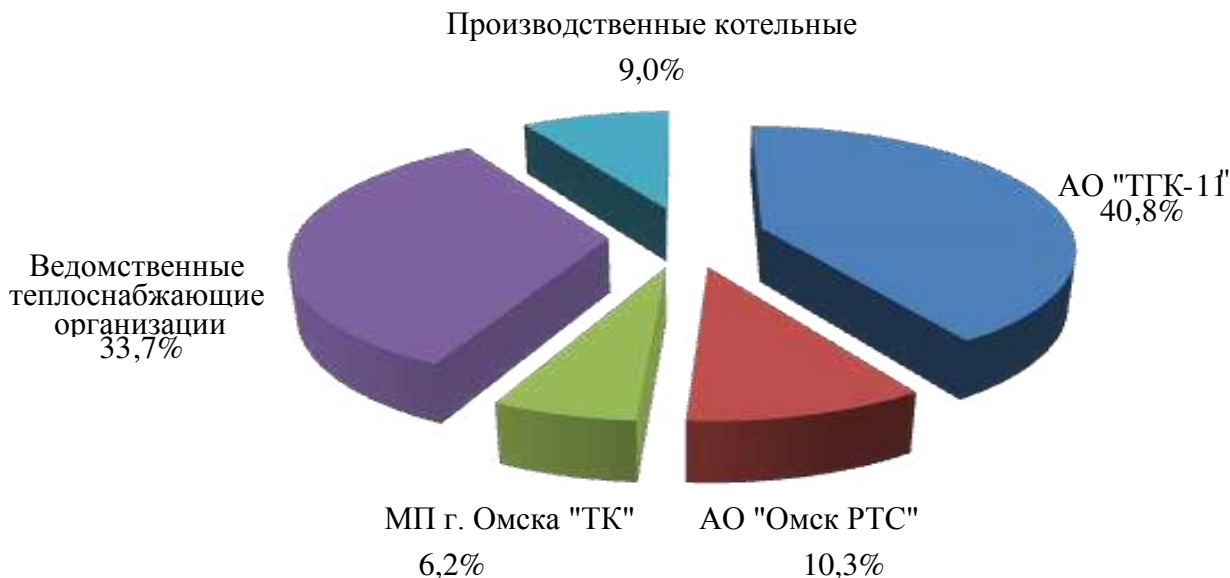


Рис. 2. Доля групп источников в общую тепловую мощность города

От трех ТЭЦ АО «ТГК-11» и двух котельных АО «Омск РТС» обеспечивается около 63% суммарной нагрузки потребителей города, от крупных котельных теплопроизводительностью более 20 Гкал/ч – 21 %. Часть потребителей частного сектора имеет индивидуальное теплоснабжение (печное отопление, мелкие котлы).

В условиях дефицита энергосистемы по мощности и электроэнергии производство значительной части тепловой энергии осуществляется по раздельной схеме, когда тепловая энергия производится предприятиями на базе котельных, сжигающих органическое топливо, а электроэнергия отбирается от ОЭС Сибири и Казахстана.

Высокая изношенность оборудования и зданий котельных, тепловых сетей, недостаточное финансирование коммунальной системы, медленное внедрение энергосберегающих технологий приводят к сверхнормативным потерям теплоты, перерасходу топлива, низкой надежности и качества теплоснабжения, высокой себестоимости производства тепловой энергии, часто превышающей установленные тарифы.

Повышение эффективности таких систем теплоснабжения возможно путем модернизации и нового строительства источников, сетей и тепловых

узлов потребителей. Наибольший эффект достигается при сооружении теплофикационных энергоустановок на базе газотурбинных (ГТУ), газопоршневых (ГПУ) и парогазовых (ПГУ) установок малой и средней мощности, обеспечивающих КПД использования энергии топлива до 80 – 85%, и относительную экономию топлива от комбинированного производства электроэнергии и теплоты 15 – 30%. Вместе с тем, при внедрении этих установок в существующие системы теплоснабжения необходимо учитывать ряд особенностей, таких как:

1) увеличение расхода топлива в 1,8 – 2,5 раза в результате выработки электрической энергии по сравнению с выработкой тепловой мощности тепловой мощности с котельными;

2) при работе по электрическому графику ГПУ и ГТУ без регенерации в летний период в результате резкого снижения тепловой нагрузки появляются потери от недоиспользования потенциала продуктов сгорания и уменьшения достигаемой экономии топлива;

3) применение высококачественного топлива – природного газа;

4) по сравнению с котельными обеспечение снижения себестоимости вырабатываемой теплоты (примерно в два раза);

5) небольшой срок строительства (1 – 2 года).

Несмотря на наличие противоречивых факторов сооружение таких энергоустановок, как правило, экономически эффективно.

При обосновании электрической мощности малых ТЭЦ необходимо учитывать максимальную нагрузку города, поскольку выработка избыточной электрической энергии приводит к дополнительной загазованности. Поэтому теплоснабжение города должно осуществляться на базе теплофикационных установок и отопительных котельных, работающих как в базовом, так и в пиковом режиме.

Выбор типа энергоустановок на малых ТЭЦ (ГПУ, ПГУ и ГТУ) определяется нагрузками и годовым графиком энергопотребления.

Для определения варианта производства энергии необходимо выполнение условий их энергетической и социальной сопоставимости, предусматривающих одинаковый полезный отпуск потребителям мощности и энергии заданного качества; покрытие заданного графика нагрузок; обеспечение заданного уровня надежности электро- и теплоснабжения.

В качестве критерия оценки экономичности теплофикации можно

воспользоваться сопоставлением совокупных затрат при раздельном и комбинированном производстве электроэнергии и тепла, определяемых в общем виде из выражений:

$$\begin{aligned} Z_{\text{разд}} &= S_{\text{разд}} + \Delta S_{\text{разд}}^{\text{т.с}} + aK_{\text{разд}} \\ Z_{\text{комб}} &= S_{\text{комб}} + \Delta S_{\text{комб}}^{\text{т.с}} + aK_{\text{комб}}. \end{aligned}$$

где  $S_{\text{разд}}, \Delta S_{\text{разд}}^{\text{т.с}}$  – ежегодные расходы и эксплуатационные затраты, связанные с потерями в тепловых сетях, руб., при раздельной схеме энергоснабжения;

$S_{\text{комб}}, \Delta S_{\text{комб}}^{\text{т.с}}$  – ежегодные расходы и эксплуатационные затраты, связанные с потерями в тепловых сетях, руб., при комбинированной схеме энергоснабжения;

$K_{\text{разд}}, K_{\text{комб}}$  – капиталовложения, руб., при раздельной и комбинированной схемах энергоснабжения;

$a$  – коэффициент приведения, который с помощью процедуры дисконтирования определяется из выражения:

$$a = \frac{1}{(1+r)^{-1} + (1+r)^{-2} + \dots + (1+r)^{-n}},$$

где  $r$  – норма дисконта, в качестве которой может приниматься реальный процент на капитал;  $n$  – число лет.

Относительная экономичность сравниваемых схем энергоснабжения может быть выражена соотношением:

$$A = \frac{S_{\text{комб}} + \Delta S_{\text{комб}}^{\text{т.с}} + aK_{\text{комб}}}{S_{\text{разд}} + \Delta S_{\text{разд}}^{\text{т.с}} + aK_{\text{разд}}}.$$

При этом всегда могут быть определены три зоны:

- 1) при  $A < 0,95$  более экономична комбинированная схема;
- 2) при  $0,95 \leq A \leq 1,05$  рассматриваемые схемы равноэкономичны;
- 3) при  $A > 1,05$  более экономична раздельная схема энергоснабжения.

Большую экономию энергетических ресурсов можно получить за счет широкомасштабного внедрения парогазового цикла (ПГУ) в промышленной и муниципальной теплоэнергетике [2]. По экспертной оценке, в городе Омске за счет частичного перевода промышленно-отопительных котельных в ТЭЦ малой мощности на основе существующих и перспективных тепловых нагрузок, а

также внедрения газовых надстроек на котельных, работающих на газе, можно в течение 5-6 лет получить дополнительно электрическую мощность в размере 250-300 МВт, что сопоставимо с мощностью новой крупной электростанции.

#### Список литературы

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети, 7-е изд. / Е. Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001 г.
2. Источники и системы теплоснабжения предприятий: учебник/ В. М. Лебедев, С. В. Приходько и др.; под ред. В. М. Лебедева. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 384 с.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Куандыкова Айнура Амырхановна**  
АО «Омские распределительные тепловые сети»  
(АО «Омск РТС»)  
644099, г. Омск, ул. Партизанская, 10.  
Начальник отдела приборов учета АО «Омск РТС».  
E-mail: Kuandykova\_AA@omskrts.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kuandykova Ainur Amyrhanovna**  
JSC "Omsk heat distribution" (JSC "Omsk RTS").  
644099, Omsk, street guerrilla, 10.  
Head of the Department of metering devices of JSC  
"Omsk RTS".  
E-mail: Kuandykova\_AA@omskrts.ru

УДК 624.438

#### **Н. В. Заложный, В. К. Гаак**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск,  
Российская Федерация

### **ОБЗОР ГАЗОВЫХ ТУРБИН ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ НА ТЕПЛОМ ПОТРЕБЛЕНИИ**

*Статья посвящена обзору газовых турбин различной конструкции и различных производителей. Рассмотрена статистика отдельной и комбинированной выработки тепловой энергии в РФ. Выявлены положительные показатели выработки тепловой энергии комбинированным способом. Рассмотрен принцип работы и конструкция газовой турбины, технологические схемы, в которых можно применять газотурбинные установки. Рассмотрены различные модели газовых турбин различных производителей, как отечественных, так и зарубежных.*

*Ключевые слова: выработка тепловой энергии, газовые турбины, ГТУ, ПГУ, комбинированный способ выработки, циклы ПГУ, энергоэффективность, эффективность сжигания топлива, принцип работы ГТУ, КПД, номенклатурный ряд газовых турбин.*

**Nikita V. Zalozhnyy, Viktor K. Gaak**

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **AN OVERVIEW OF GAS TURBINES FOR POWER GENERATION AT HEAT CONSUMPTION**

*The article is devoted to the review of gas turbines of different designs and different manufacturers. The statistics of separate and combined heat generation in the Russian Federation is considered. Positive indicators of thermal energy production by the combined method are revealed. The principle of operation and design of the gas turbine are considered. Technological schemes in which it is possible to apply gas turbine installations are considered. Various models of gas turbines of different manufacturers, both domestic and foreign, are considered.*

*Key words: heat generation, gas turbine unit, CCGT unit, combined method of heat generation, the CCGT cycles, energy efficiency, the efficiency of fuel combustion, gas turbine working principal, efficiency coefficient, gas turbine catalog.*

Для чего нужна выработка электроэнергии на тепловом потреблении.

Производство тепловой энергии может происходить по различным циклам: комбинированным (ТЭЦ) и отдельным (отопительные котельные). Комбинированный способ подразумевает производство как тепловой, так и электрической энергии и является наиболее предпочтительным, так как имеет больший коэффициент полезного действия. Высокий КПД подразумевает снижение себестоимости выработанной энергии, что в свою очередь влияет на снижение затрат топлива. Отдельный способ же производит только тепловую энергию и с меньшим КПД, что отрицательно сказывается на эффективности сжигания ископаемого топлива.

Доля отдельной генерации в РФ составляет 64% [1], что составляет большую долю отпуска тепла страны.

Существует несколько способов повышения эффективности работы источников, работающих по отдельному циклу. Некоторые из них:

1) модернизация паровых котельных с переводом их работы с использованием парогазовых установок (ПГУ)

2) настройка водогрейных котлов газовыми турбинами (ГТУ)

Принцип работы газовой турбины. Циклы, в которых используют ГТ.

Газотурбинной установкой называется двигатель, в котором сжатый в компрессоре воздух подается в камеру сгорания, там он смешивается с

топливом и сгорает. Сгоревшая смесь образует горячий газ, который поступает на лопатки, где происходит превращение его энергии в механическую за счет вращения лопаток турбины, которые закреплены на валу, соединенном с компрессором и электрическим генератором.

Преимущества перед паровыми турбинами:

- 1) удельный размер меньше;
- 2) короткое время запуска;
- 3) встроенную камеру сгорания;
- 4) выбросы  $\text{NO}_x$  меньше;
- 5) последующие использование отработавшего теплоносителя.

Газовые турбины имеют преимущество перед паровыми, заключающееся в том, что их удельный размер меньше, они имеют короткое время запуска, имеют встроенную камеру сгорания, выбросы  $\text{NO}_x$  меньше, а также есть возможность надстроить их над существующими теплопроизводящими мощностями и получить общий КПД до 60%.

Газотурбинные установки могут использовать как единично, так и в каком-то цикле. Тогда цикл работы ГТУ может называться монарным и бинарным соответственно.

Топливо и сжатый воздух подается в камеру сгорания ГТУ, где оно сгорает и приводит в действие ротор, в конечном итоге вырабатывающий электроэнергию. Дымовые газы после ГТУ отправляются в низконапорный подогреватель (как правило котёл), где дожигаются другим топливом и вырабатывают пар для паровой турбины.

Преимущества:

- 1) надежность;
- 2) термическая эффективность;
- 3) переход с комбинированной работы на индивидуальную организуется за короткое время и не требует прекращения работы;
- 4) отсутствует необходимость в значительных переделках в ГТУ, используемых для газового контура, что позволяет применять уже отработанные выпускаемые промышленностью ГТУ;
- 5) возможно использование двух видов топлива: высококачественного жидкого или газообразного в газовом контуре и низкокачественного жидкого или твердого топлива в паровом контуре. Доля низкокачественного топлива значительна и достигает 70 – 75 %.

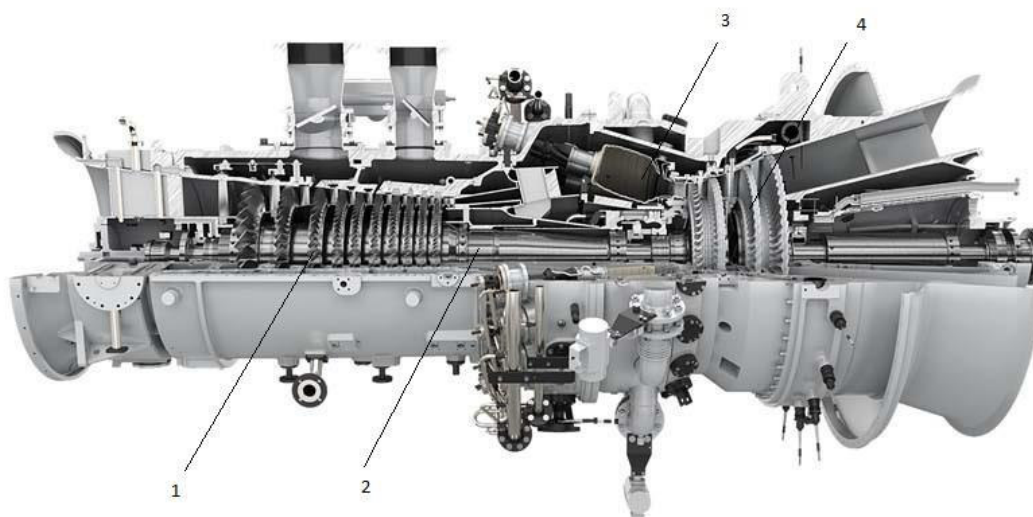


Рис. 1. Общий вид газовой турбины:

1 – лопатки компрессора; 2 – ротор турбины; 3 – камера сгорания; 4 – силовая область газовой турбины

Рассмотрим несколько бинарных циклов работы ПГУ:

а) ПГУ с низконапорным парогенератором (рис. 2).

Так же может использоваться похожая схема – ПГУ с высоконапорным парогенератором. В ней топливо и сжатый воздух сгорают в котле под давлением и часть газов возвращается в ГТУ и вырабатывают электрическую энергию.

б) ПГУ с котлом-утилизатором (рис. 3).

в) Генерация пара в установках с котлом-утилизатором (КУ) обеспечивается за счет теплоты уходящих газов турбины в котлах-утилизаторах. Такие установки отличаются относительно низкими расходами пара, так как количество теплоты для генерации пара ограничено мощностью, применяемой ГТУ. В турбинах с низкими начальными параметрами рабочего тела температура уходящих газов также сравнительно невысока (400 – 430°C), что приводит к низким параметрам генерируемого пара. Все это обуславливает сравнительно невысокую долю парового контура в полезной мощности ПГУ с котлом-утилизатором (30 – 40%) и к.п.д. ПГУ не более 45 – 50%.

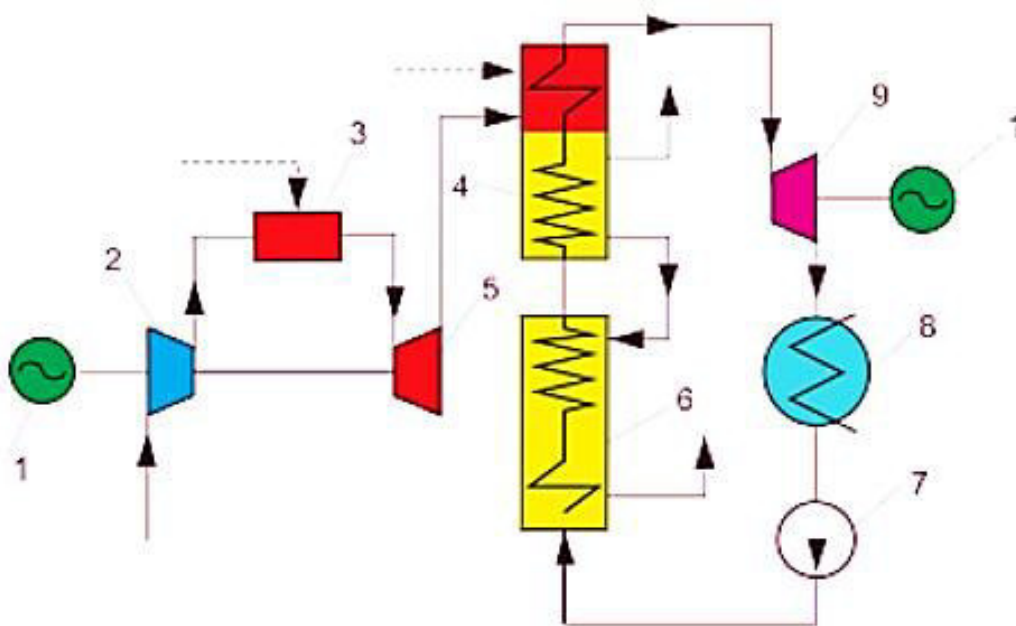


Рис. 2. ПГУ с низконапорным парогенератором:

1 – электрогенератор; 2 – компрессор; 3 – камера сгорания; 4 – низконапорный парогенератор; 5 – газовая турбина; 6 – газовойодяной подогреватель; 7 – насос; 8 – конденсатор; 9 – паровая турбина

При использовании турбин с большими выходными параметрами можно добиться КПД установки 55 – 60%

Преимущества:

- 1) высокий КПД;
- 2) маневренность;
- 3) низкая удельная стоимость и высокая надежность работы.

Обзор газовых турбин разных производителей.

В данный момент на мировом рынке существует две крупные компании производящие газовые турбины – General Electric и Siemens. На две эти компании приходится около 50% мирового производства газовых турбин.

Газотурбинные установки, применяемые в ПГУ, можно разделить по величине установленной мощности на такие две группы: газотурбинные установки мощностью от 10 до 60 МВт; газотурбинные установки мощностью 70 МВт и более.

Одной из крупных в России по производству энергетического оборудования является «РЭП Холдинг». В состав данной компании входят «Невский завод», «Завод Электропульт», «Электропульт-система», Данная компания осуществляет конструкторские разработки, изготовление и

комплексные поставки энергетического и электротехнического оборудования для нефтегазовой, металлургической и химической промышленности, для энергетики и электросетевого комплекса [2].

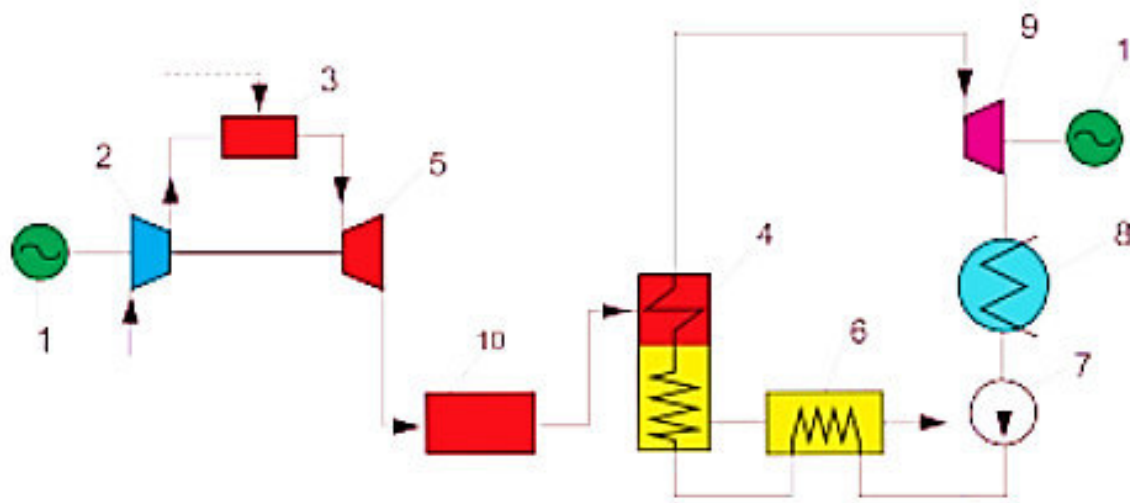


Рис. 3. Принципиальная тепловая схема парогазовой установки с котлом-утилизатором с дожиганием топлива: 1 – электрогенератор; 2 – компрессор; 3 – камера сгорания; 4 – котел-утилизатор; 5 – газовая турбина; 6 – резервуар питательной воды; 7 – питательный насос; 8 – конденсатор; 9 – паровая турбина; 10 – камера дожигания топлива

«РЭП Холдинг» производит турбины, разработанные компанией General electric.

Рассмотрим газотурбинную электростанцию на базе ГТ мощностью 25 МВт.

Таблица 1

Характеристики газовой турбины Т25

| Наименование                   | Ед. изм. | Значение |
|--------------------------------|----------|----------|
| Мощность на клеммах генератора | МВт      | 21,75    |
| КПД электрический              | %        | 38,9     |
| Расход уходящих газов          | кг/с     | 68,24    |
| Температура уходящих газов     | °С       | 465      |
| Расход топливного газа         | кг/с     | 1,11     |

Компания «ОДК Газовые Турбины»

Данная компания имеет производство в городе Рыбинск, Ярославская область. Предприятие существует под разными названиями с 1935 года [3].

Газотурбинный блок ГТА-25

ГТА-25 – автоматизированный газотурбинный энергетический агрегат блочно-контейнерного либо ангарного исполнения номинальной мощностью

25 МВт. В качестве привода агрегата может использоваться газотурбинный двигатель ПС-90ГП-25.

Таблица 2

Характеристики газовой турбины ПС-90ГП-25

| Наименование                   | Ед. изм. | Значение |
|--------------------------------|----------|----------|
| Мощность на клеммах генератора | МВт      | 25,6     |
| КПД электрический              | %        | 39,2     |
| Расход уходящих газов          | кг/с     | 79,6     |
| Температура уходящих газов     | °С       | 488      |
| Расход топливного газа         | кг/с     | 1,37     |

### Газовые турбины компании Siemens

Компания Siemens производит широкий ряд газовых турбин и является одним из гигантов на мировой арене по производству энергетического оборудования.

В 2011 году создали в Санкт-Петербурге завод, занимающийся разработкой, сборкой, продажей и обслуживанием газовых турбин мощностью свыше 60 МВт для рынка России и СНГ, а также локализацией производства. В июне 2015 года в Ленинградской области состоялось открытие новой производственной площадки «Сименс Технологии Газовых Турбин». Завод, построенный с нуля и оснащенный самым высокотехнологичным оборудованием

Каталог турбин Siemens [4]:

1. Мощность 0-15 МВт:

- SGT-100 5/6 МВт
- SGT-300 8-9 МВт
- SGT-400 11-15 МВт

2. Мощностью 15-100 МВт:

- SGT-700 33-34 МВт
- SGT-750 34-41 МВт
- SGT-A45 41-44 МВт
- SGT-800 48-57 МВт
- SGT-A45 58-62 МВт

3. Мощностью 15-100 МВт:

- SGT5-2000E 187 МВт
- SGT5-4000F 329 МВт

- SGT5-8000HL 481 МВт
- SGT5-9000HL 593 МВт

Турбины Siemens, используемые в России:

Турбина SGT5-4000F на ТЭЦ-15, ТЭЦ-20 (Москва), Череповецкая ГРЭС, Киришская ГРЭС (Ленинградская область)

Как можно заметить, компания предоставляет большой выбор газовых турбин. Есть возможность подбора турбины нужной мощности для ваших нужд.

Таблица 3

Технические характеристики турбины SGT5-4000F

| Наименование                   | Ед. изм. | Значение |
|--------------------------------|----------|----------|
| Мощность на клеммах генератора | МВт      | 329      |
| КПД                            | %        | 41       |
| Расход уходящих газов          | кг/с     | 724      |
| Температура уходящих газов     | °С       | 599      |
| Тепловая мощность              | МВт      | 475      |
| КПД в комбинированном цикле    | %        | 59,7     |

Характеристики КПД у многих турбин близки и лежат в электрическом цикле в пределах 30-40% и в комбинированном 55 – 60%.

Рассмотрим турбину SGT5-4000F.

Газовые турбины General Electric

Четверть всей электрической энергии производится с помощью машин GE. Компания работает в России почти 100 лет, используя международный опыт и локализуя передовые технологии в сотрудничестве со стратегическими партнерами в энергетике, нефтегазовой отрасли, транспорте, здравоохранении.

Каталог турбин GE [5]:

Турбины General Electric, используемые в России:

Турбина TM2500 ТЭЦ-3 Омск, PG 6111FA Вологодская ТЭЦ, PG9351FA Шатурская ГРЭС имени В.И. Ленина (Московская область).

Газовая турбина 6B.03

Таблица 4

Технические характеристики турбины 6B.03

| Наименование                   | Ед. изм. | Значение |
|--------------------------------|----------|----------|
| Мощность на клеммах генератора | МВт      | 44       |
| КПД                            | %        | 33,5     |
| Температура уходящих газов     | °С       | 549      |
| КПД в комбинированном цикле    | %        | 51,6     |

## Технические характеристики турбины ТМ2500

| Наименование                   | Ед. изм. | Значение |
|--------------------------------|----------|----------|
| Мощность на клеммах генератора | МВт      | 33,6     |
| КПД                            | %        | 34,8     |
| Тепловая мощность              | МВт      | 48,4     |
| Температура уходящих газов     | °С       | ~550     |
| КПД в комбинированном цикле    | %        | 49,8     |

## HEAVY DUTY GAS TURBINE 50 HZ PORTFOLIO MW RATINGS

### 50 HZ Portfolio by Rating

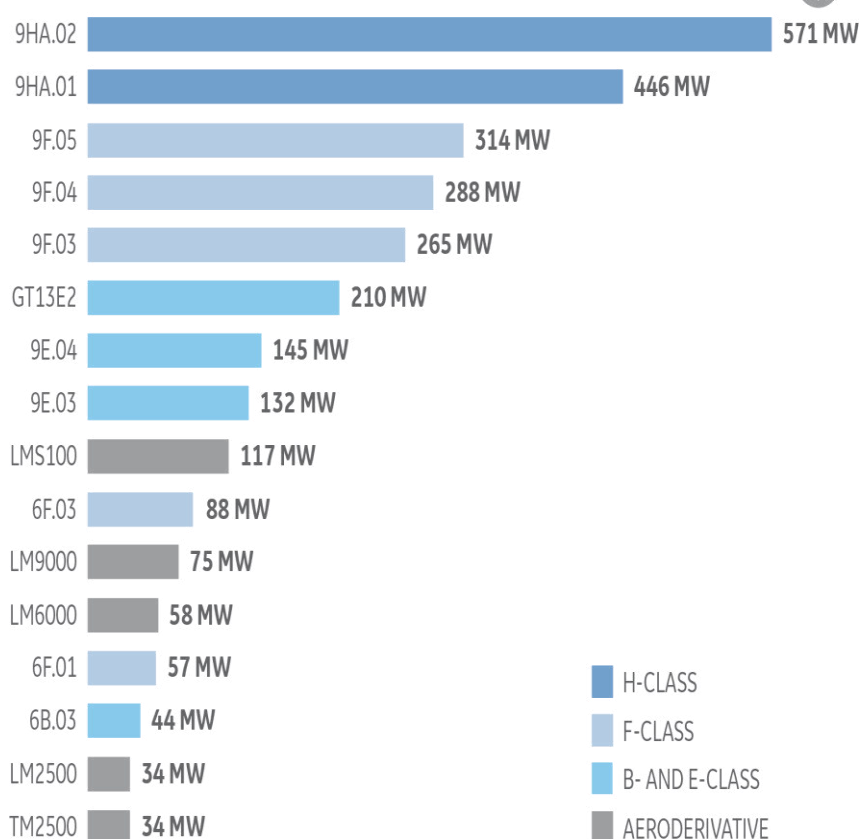


Рис. 4. Турбины General Electric

Газовая турбина ТМ2500.

Две данные турбины работают на Омской ТЭЦ-3, где производят в комбинированном цикле 90 МВт энергии.

С каждым годом потребности людей в энергии растут, в соответствии с этим будут внедряться производства, позволяющие экономить конечные

топливные ресурсы. Из этого можно сделать вывод, что доля газовых турбин на рынке производстве электроэнергии будет расти, что делает развитие газотурбинных технологий перспективными. С развитием турбин модернизируются и циклы в которых используют данные силовые машины, что в будущем может привести к ещё лучшим показателям использования энергии ископаемого топлива.

#### Список литературы

1. Отчет «О ситуации с теплоснабжением в Российской Федерации». Фонд энергетического развития 2016 Москва.
2. Каталог продукции компании «РЭП Холдинг».
3. Каталог продукции компании «ОДК Газовые Турбины».
4. Каталог продукции компании «Siemens».
5. Каталог продукции компании «General Electric».

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Заложный Никита Владичирович**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Студент четвертого курса, кафедры  
«Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: niczz9797@gmail.com

**Гаак Виктор Климентьевич**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: GAAKVK@Gmail.com

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zalozhnyy Nikita Vladimirovich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
A student of "Heat power Engineering", OSTU.  
E-mail: niczz9797@gmail.com

**Gaak Viktor Klimentevich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Profrrsor of the  
cathedra «Heat power Engineering», OSTU.  
E-mail: GAAKVK@gmail.com

**П. И. Каргапольцев, Е. А. Рацин**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск,  
Российская Федерация

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ БЛОКА ФИЛЬТРАЦИИ УСТАНОВКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ**

*Рассмотрен вопрос снижения расхода реагентов на участке водоподготовки. Предложен вариант повторного использования отработанного регенерационного раствора для регенерации ("развитая" регенерация). Предоставлено краткое экономическое обоснование предложенной модернизации.*

*Ключевые слова: обессоливание, регенерация, фильтрация, щелочь, реагент.*

**Pavel I. Kargapoltsev, Evgeniy A. Ratsin**

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **MODERNIZATION OF THE REGENERATION SCHEME OF THE FILTRATION UNIT OF A CHEMICALLY DEMINERALIZED WATER PREPARATION UNIT**

*The question of reducing the consumption of reagents in the area of water treatment was considered. A variant of the reuse of the spent regeneration solution for regeneration ("advanced" regeneration) is proposed. A brief business case for the proposed upgrade is provided.*

*Key words: desalting, regeneration, filtration, alkali, reagent.*

Химически очищенная вода – неотъемлемая часть технологического процесса Омского нефтеперерабатывающего завода. Основными потребителями являются такие крупные установки как КТ-1/1, 43-103, Л-35/11-1000, АВТ-10 и другие. Качество химочищенной воды оказывает высокое влияние на последующие процессы, связанные с переработкой нефти.

Качественная фильтрация осветлённой воды является важной частью во всём процессе очистки воды. Установка получения химически обессоленной

воды (ХВО-2) предназначена для химической очистки и обессоливания воды из реки Иртыш методом осветления с добавлением коагулянта, фильтрации на механических фильтрах с последующей обработкой на водород-катионитовых и анионитовых фильтрах.

Сырая вода на установку поступает с водозабора из реки «Иртыш» по трубопроводу с давлением 0,4 – 0,6 МПа (4 – 6 кгс/см<sup>2</sup>). В теплообменниках Т-1, Т-2 вода подогревается острым паром до температуры 20 – 35 С. После теплообменников вода поступает в воздухоотделители осветлителей ОС-1, ОС-2. Из резервуаров Р-19/1, Р-19/2, которые сообщаются между собой вода насосами Н-27/1, Н-27/2 подается на вход механических фильтров ФМ-1,5. Осветленная вода после фильтров механической очистки ФМ-1,5 направляется на вход первой ступени водород-катионитных фильтров ФН1-1,5. После водород-катионитных фильтров 1-й ступени вода поступает на анионитные фильтры 1-й ступени ФА1-1,4. После анионитных фильтров 1-й ступени вода направляется на водород-катионитные фильтры 2-й ступени ФН2-1,3. Вода после водород-катионитных фильтров 2-й ступени ФН2-1,3 двумя потоками поступает на вход декарбонизаторов ДК-1, ДК-2. После декарбонизаторов ДК-1, ДК-2 вода поступает в резервуары декарбонизированной воды Р-20/1, Р-20/2. Из сообщающихся резервуаров Р-20/1, Р-20/2 вода направляется на прием насосов Н-35/1, Н-35/2 и подается на вход анионитных фильтров 2-й ступени ФА2-1,3. Химически обессоленная вода после анионитных фильтров 2-й ступени собирается в резервуаре Р-26. Из резервуара Р-26 химически обессоленная вода общим потоком поступает на прием насосов Н-29/1, Н-29/2 и с установки подается в общезаводской коллектор потребителям.

Для восстановления ионообменной способности фильтрующего материала, в технологическом режиме, применяется регенерация фильтров. На водород-катионитовых фильтрах регенерация проводится серной кислотой, а на анионитовых фильтрах раствором щёлочи.

Выделяют 3 основных этапа: взрыхление, регенерация, отмывка.

Одной из целей прошедшего года экологии в РФ была – обеспечение экологической безопасности РФ. Снижение расхода энергоресурсов и снижение количества сбрасываемых сточных вод является мероприятием для достижения данной цели.

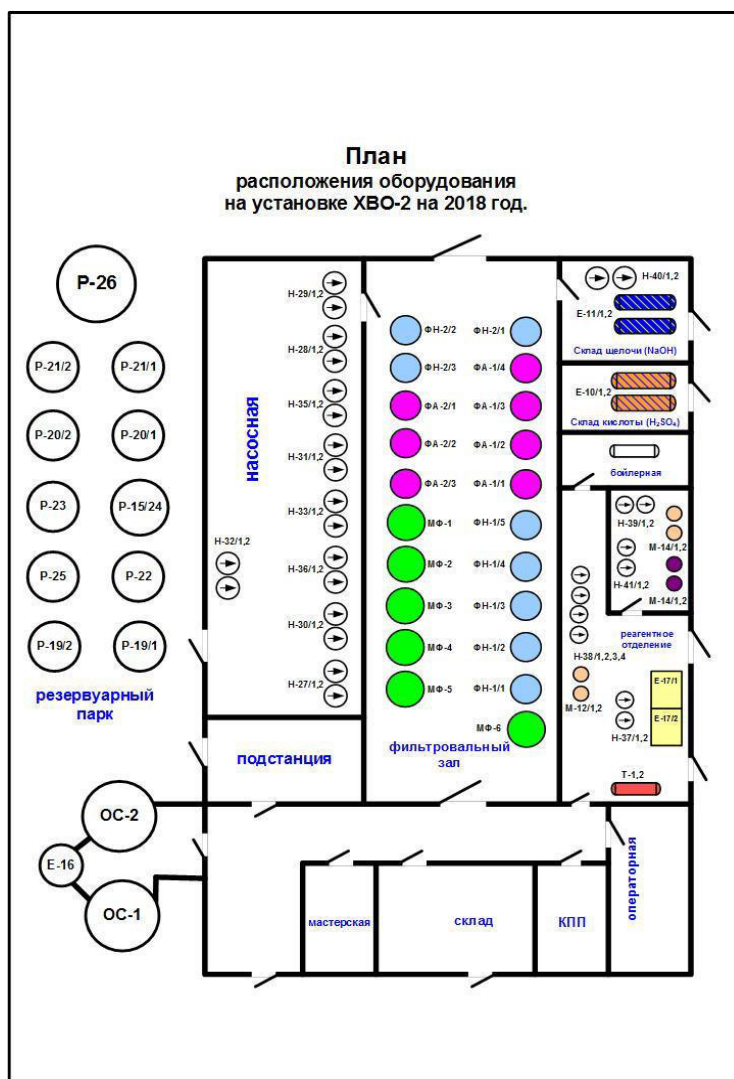


Рис. 1. План расположения оборудования на установке ХВО-2

### Решение проблемы

К числу наиболее значимых направлений стратегического развития большинства отечественных ТЭС относятся разработки, позволяющие минимизировать количество сбросов сточных вод, образующихся в технологическом процессе производства тепловой и электрической энергии, за счет создания малоотходных и безотходных схем водопользования, а также усовершенствования многих существующих технико-экономических решений по обработке воды.

Одним из самых эффективных мероприятий для усовершенствования технологии фильтрации на установке ХВО-2 является применение "развитой" регенерации.

Суть данной технологии: повторное использование отработанного регенерационного раствора щелочи, для регенерации анионитовых фильтров.

На рисунке 2 приведена график изменения качества отработавшего раствора при развитой регенерации.

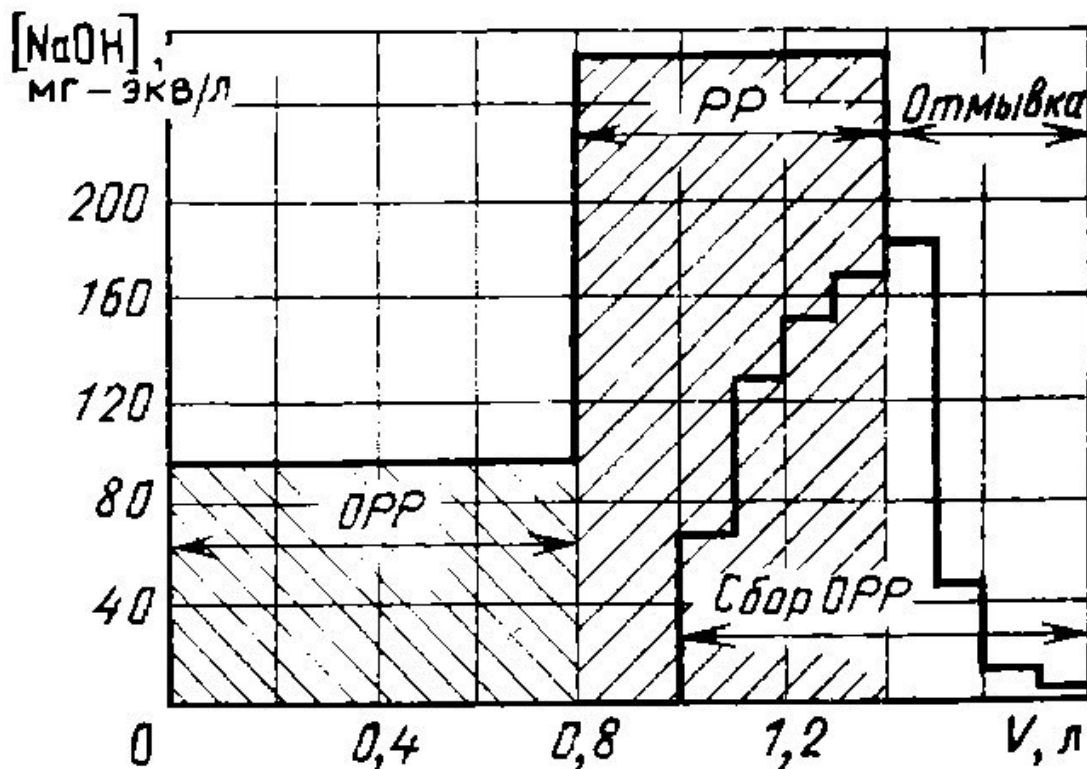


Рис. 2. Изменение качества отработавшего раствора при развитой регенерации

Сначала через анионит сверху вниз пропускается отработавший раствор, собранный от предыдущей регенерации, а затем подаётся раствор свежей щёлочи. Режим регенерации показан на рисунке 2, где представлено изменение щёлочности фильтрата в зависимости от его количества. Как видно из рис. 2, сначала через анионит пропускается 0,8 л отработавшего раствора со щёлочностью 93, мг-экв/л, и он отмывается 0,4 л дистиллята. После проскока щёлочи в фильтрат ( $V=1$ л) начинается сбор отработавшего раствора. Количество и концентрация вторичного отработавшего раствора соответствует первичному и составляют соответственно 0,8 л и 93 – 94 мг-экв/л.

Повторное использование раствора щелочи имеет ряд преимуществ:

- 1) сокращение сброса сточных вод;
- 2) сокращение расхода реагентов;
- 3) уменьшение расхода воды на собственные нужды;

Ожидаемый эффект от внедрения.

Согласно расчетам, представленным в приложении 1, при использовании

"развитой регенерации" расход щелочи для регенерации анионитовых фильтров сократится примерно на 8 %. В среднем годовое потребление 44% щелочи составляет 775,1 т/год. Таким образом, после внедрения мероприятия экономия реагента составит примерно 62 т/год.

Экономический эффект достигается за счет:

- 1) снижения расхода щелочи;
- 2) снижение сброса сточных вод;

Модернизация схемы регенерации схемы фильтрации воды с применением развитой регенерации включает в себя монтаж нового резервуара для сбора отработанного регенерационного раствора, монтаж трубопроводов, установка насосов для перекачки раствора из резервуара на фильтра. Общая стоимость мероприятия составит около 1400000 руб.

При стоимости щелочи 36600 р/т экономия составит 2269200 руб./год. Срок окупаемости составит 0,62 года.

Модернизация схемы регенерации блока фильтрации оказывает положительное влияние на весь процесс регенерации. Сокращение расхода реагентов имеет экономическую составляющую.

Применение схемы такого типа нашло широкое применение в теплоэнергетике и промышленности. Стоит отметить положительные отзывы при эксплуатации данной схемы «развитой» регенерации.

Снижение количества сточных вод положительно влияет на экологию, что не маловажно в наше время. Создание безотходных и малоотходных схем водопользования является перспективным направлением в энергетике и в промышленности в целом.

#### Список литературы

1. Фейзиев, Г. К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды / Г. К. Фейзиев. – Энергоатомиздат, 1988. – 194с.

2. Копылов, А. С. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты: Учеб. пособие для вузов / А. С Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. – М: изд-во МЭИ, 2009.

3. Белаконова, А. Ф. Воднохимические режимы ТЭС / А. Ф. Белаконов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 246 с.

4. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ, 2001. – 472 с.

5. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. М.: Академия, 2006 – 304 с.

6. Маннанова, Г. В. Методы Очистки Промышленных Сточных Вод / Москва: РГГУ, 2007. – 391 с.

7. Левадный, В. С. Дренаж и очистка сточных вод / В. С. Левадный. – М.: Аделант, 2009. – 119 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Каргапольцев Павел Игоревич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: pavelomsk93@gmail.com

##### **Рацин Евгений Александрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: earatsin@mail.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Kargapoltsev Pavel Igorevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Post-graduate student of the department «Heat  
power Engineering» OSTU.  
E-mail: pavelomsk93@gmail.com

##### **Ratsin Evgeniy Alexandrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Post-graduate student of the department «Heat  
power Engineering» OSTU.  
E-mail: zhenya\_ratz@mail.ru

УДК 621.182: 662.66

#### **Я. А. Привалова, А. Ю. Финиченко**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск,  
Российская Федерация

### **ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ УГЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ ТИПА «ТЕРМОРОБОТ»**

*В статье рассмотрены и выбраны основные марки угля соответствующие требованиям для блочно-модульных котельных. Рекомендована технология подготовки топлива и определены его фактические характеристики при работе на данном угле.*

*Ключевые слова: блочно-модульная котельная, топливо, уголь, технологическая схема, приготовление угля.*

## **THE CENTRALIZED SYSTEM OF PREPARATION OF COAL FOR WORK OF "TERMOROBOT" BOILER HOUSES**

*In article the main grades of coal conforming to requirements for block and modular boiler houses are considered and chosen. The technology of preparation of fuel is recommended and its actual characteristics are defined during the work on this coal.*

*Key words: block and modular boiler house, fuel, coal, flow diagram, coal preparation.*

Отдельностоящие автономные источники теплоснабжения модульного типа (далее – котельные) производятся на базе автоматических водогрейных угольных котлов Терморобот. Важным требованием для эффективной работы таких котельных является выбор и применение топлива, в частности угля.

Виды угля отличаются отдельными характеристиками, и даже больше того – твердое топливо одной марки может иметь различные показатели качества. Основные характеристики угля зависят от условий формирования залежей и влияют на выбор в соответствии с условиями применения. Качество – совокупность разных свойств продукта, которые используются для удовлетворения потребностей той или иной отрасли. Спектр использования угля просто огромен, но и перечень показателей, которые определяют качество, тоже существенен.

Главные показатели которыми должен обладать уголь:

- теплота сгорания;
- определение зольности угля;
- влажность;
- содержание серы;
- выход летучих веществ;
- теплотворная способность каменного угля.

Не рекомендуется использовать уголь низкого качества (отсев, шлам; уголь с высоким содержанием влажной пыли). Блочно-модульные котельные сохраняют работоспособность при использовании весьма плохих углей, но использование несортового угля не дает экономии:

– влажный уголь содержит около 10% воды. Часть тепла тратится на испарение этой воды, соответственно необходимо восполнить данные потери за счет увеличения топлива на 10%;

– низкокачественный (мелкий, влажный) уголь «зависает», то есть, слипается или замерзает в бункере. Это вызывает остановку работы котла, и может привести к размораживанию здания, теплотрассы и самой блочно-модульной котельной;

– зольность низкосортного угля на 5-10% выше, чем у сортового, а теплота сгорания ниже, это тоже прямая потеря денег;

– повышенная зольность угля приводит к ускоренному загрязнению горелки, теплообменника и дымохода, а зола уноса загрязняет прилегающую территорию;

– большое содержание породы и инородных тел в низкосортном угле приводит к механическому износу механизма подачи и может вызвать заклинивание или повреждение шнека.

Заводы изготовители модульных котельных на твердом топливе рекомендуют использовать уголь марки Д (каменный длиннопламенный) и угли Б (бурые) фракции 0 – 50 мм. При сжигании таких углей гарантируется работоспособность котлов.

Для бесперебойной и эффективной работы котельной необходима подготовка угля: это отсев и дробление до однородной фракции, также уголь должен быть сухой во избежание проблем с подачей топлива из бункера. Для того чтобы обеспечить все данные требования необходимо соблюдать технологию подготовки угля, а в частности: установку магнитов для удаления слабомагнитных рудных и нерудных материалов, дробление угля для измельчения нужной фракции, сушка топлива до необходимого значения.

В таблице 1 приведены рекомендованные характеристики угля.

Таблица 1

#### Характеристики угля марки Д и Б

| Марка угля                             | Размер, мм | Влага, % | Зола, % | Теплота сгорания, ккал | Выход летучих веществ | Цена за 1 т |
|--|------------|----------|---------|------------------------|-----------------------|-------------|
| ДР (рядовой)                           | 0-300      | 13       | 12      | 5200                   | 40,5                  | 1700        |
| ДГР (длинно-пламенный газовый рядовой) | 0-300      | 7-9      | до 12   | 5800-6100              | 45-47                 | 1400        |
| ДПКО                                   | 25-200     | 10       | 11      | 5400                   | 42                    | 1300        |
| 2БР (рядовой)                          | 0-300      | 25       | 14      | 3800                   | 47,5                  | 650         |
| 2БПКО (плита, камень, орех)            | 25-200     | 24       | 28      | 4300                   | 47                    | 950         |
| 3БПКО (плита, камень, орех)            | 25-200     | 19       | 6       | 5000                   | 44                    | 1550        |

Основной показатель любого топлива – удельная теплота сгорания. Для бурого угля этот показатель составляет около 3500, для антрацита 7400 ккал/кг. В расчетах для топлива блочно-модульных котельных используется 5300 ккал/кг. В справочниках иногда приводят значение 7000 ккал/кг, но эти цифры относятся к угольному концентрату.

При выборе оборудования основным показателем является производительность, ссылаясь на требования технологической линии производительность была задана не ниже 30 тонн в сутки (или не ниже 3т/ч).

Возможная технологическая схема производственной линии предназначенной для производства топлива для блочно-модульных котельных, представлена в таблице 2.

Таблица 2

Технологическая линия по производству угля для блочно-модульных котельных на твердом топливе

| Оборудование                 | Фото  | Технология  | Основные технические характеристики   | Комплект, шт |
|------------------------------|---|---|---|--------------|
| Дробилка угля ДО-1М          |  | Предназначена для дробления бурых и каменных углей.   | Производительность , т/ч – 30<br>Размер загружаемых кусков, мм, не более – 250<br>Мощность электродвигателя, кВт - 11<br>Фракция дробления, мм, не более - 40 | 1            |
| Магнитный сепаратор СТВ-1018 |  | Предназначен для отделения магнитных минералов от пустой немагнитной породы с помощью притяжения частиц с повышенной магнитной восприимчивостью | Диаметр*длина цилиндра – Dia, мм – 900; L,мм – 1800<br>Производительность, т/ч – 25-40<br>Мощность, кВт – 4<br>Скорость вращения цилиндра,об/мин - 28         | 1            |

|  |  |   |  |          |
|--|--|---|--|----------|
| <p>Паровая<br/>(термомасляная)<br/>барабанная<br/>сушилка-</p> |   | <p>Применяется для сушки материалов с целью снизить влажность и увеличить сроки хранения, улучшить эксплуатационные качества материала.</p> | <p>Производительность – 17-40 м<sup>3</sup>/час.<br/>Испарительность, тон/ч – 0,3-0,4<br/>Влажность сырья, % - 35-50<br/>Влажность высушенных материалов, % - 12-15<br/>Температура сушки, °С - 110 -250<br/>Общая мощность, кВт – 40-60</p> | <p>1</p> |
| <p>Пылеулав-<br/>ливание</p>                                   |  | <p>Удаление пыли из подготавливаемого топлива</p>   | <p>Очистка от мелкодисперсной пыли до 99 %, концентрация пыли в топливе до 100 г/м<sup>3</sup>,</p>  | <p>1</p> |

Таким образом, выбор топлива является важным и гарантированным показателем эффективной работы котла, подготовка угля для блочно-модульных котельных и основных технологических процессов обеспечит подготовку топлива требуемых параметров и обеспечит работу котла при номинальной мощности.

#### Список литературы

1. Дмитриев, П. Н. История горного дела. Развитие технологии и техники подземной добычи углей. / П. Н. Дмитриев, Н. В. Пашкевич // Уфа. – 1999. – 131 с.
2. Деев, Л. В. Котельные установки и их обслуживание / Л. В. Деев, Н. А. Балахн. – М.: Высшая школа, 1990. – 239 с.
3. Официальный сайт ЦСИ ТЭК ДВ – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fecsrfec.ru/upload/iblock/514/51461e72cef7de4a4f0a2c4367be4a70.pdf>
4. Официальный сайт termorobot – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://termorobot.ru/class.htm>.
5. Технология погрузки угля в специализированные контейнеры на углепогрузочном комплексе: статья / И. И. Демченко, В. А. Ковалев, А. О. Муленкова. – 2014 г.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Привалова Яна Артуровна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000, Российская Федерация.  
Студент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
Тел.: +7-996-397-42-94  
E-mail: [www.privalova@bk.ru](mailto:www.privalova@bk.ru)

### **Финиченко Александра Юрьевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
Тел.: 8(3812) 31-06-23  
E-mail: [Finichenko@mail.ru](mailto:Finichenko@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Privalova Yana Arturovna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644000, the Russian Federation.  
Student of the department "Heat power engineering" OSTU.  
Phone: +7-996-397-42-94  
E-mail: [www.privalova@bk.ru](mailto:www.privalova@bk.ru)

### **Finichenko Aleksandra Yurievna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx av.m, Omsk, 644000, the Russian Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor of «Heat power engineering» OSTU.  
Phone: 8(3812) 31-06-23  
E-mail: [Finichenko@mail.ru](mailto:Finichenko@mail.ru)

УДК 620.91

### **С. В. Глухов, М. В. Глухова**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск,  
Российская Федерация

## **СИСТЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В статье приведено исследование и определение энергетической и экономической эффективности при внедрении энергосберегающих мероприятий в системах внутреннего водоснабжения и водоотведения на примере многоквартирного жилого дома в г. Омске.*

*Ключевые слова: энергосбережение, водоснабжение, водоотведение, солнечный коллектор, рекуператор.*

**Sergey V. Glukhov, Maria V. Glukhova**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **THE SYSTEM OF INDIVIDUAL HOT WATER ON THE BASIS OF THE SOLAR COLLECTOR IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE OMSK REGION**

*The article presents the study and determination of energy and economic efficiency in the implementation of energy-saving measures in the systems of internal water supply and sanitation on the example of an apartment house in Omsk.*

*Key words: energy saving, water supply, water disposal, solar collector, recuperator.*

В последние десятилетия активно обсуждаются варианты использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), разрабатываются и применяются новые технологии и материалы, позволяющие максимально эффективно использовать энергию солнца, воды, ветра и недр Земли. Российская Федерация, хоть и обладает огромным запасом традиционных источников энергии, но, тем не менее, включилась в активную (пусть и в меньшей степени, чем развитые страны) реализацию программ по использованию НВИЭ совсем недавно. Принятие Федерального Закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности...», ряда иных нормативно-правовых актов, а также использование опыта зарубежных стран в вопросах нетрадиционной энергетики открывает новые широкие горизонты для развития энергетики России [1].

Для отечественной энергетики важны возможности и перспективы применения альтернативных ископаемому топливу источников энергии нашей страны в целом. Однако прежде чем решать вопрос о целесообразности использования НВИЭ в масштабах страны, необходимо решить этот вопрос для каждого конкретного региона. В Сибирском федеральном округе по данным на начало 2012 года проживает около 19,28 млн. человек (13,13 % от населения РФ) и потребляют порядка 20 % от общего потребления тепловой энергии на нужды ГВС, отопления и вентиляции. Климатические факторы обуславливают огромные затраты на производство и транспорт тепла. В данной индивидуальном проекте приведены некоторые результаты исследования о целесообразности применения солнечных коллекторов, проведенного для

климатических условий города Омска.

В качестве рассматриваемого объекта исследования принят многоквартирный жилой дом переменной этажности 9-12 этажей имеющей 113 квартир с расчетным количеством проживающих 300 человек расположенный в г. Омске по ул. М. Жукова. Подготовка горячей воды в жилом доме организована в индивидуальном тепловом пункте по закрытой двухступенчатой смешанной схеме в зимний период и по открытой схеме в летний период (рис. 1).

В табл. 1 приведены данные о ежемесячном потреблении горячей воды жильцами жилого дома за каждый месяц 2017 года.

Таблица 1

Потребление горячей воды помесячное за 2017 год

|                                     |        |         |                           |         |        |         |
|-------------------------------------|--------|---------|---------------------------|---------|--------|---------|
| Месяц                               | Январь | Февраль | Март                      | Апрель  | Май    | Июнь    |
| Потребление воды на цели ГВС, куб.м | 438    | 351     | 538                       | 486     | 357    | 347     |
| Месяц                               | Июль   | Август  | Сентябрь                  | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
| Потребление воды на цели ГВС, куб.м | 405    | 380     | 110 – закр,<br>264 - откр | 504     | 472    | 521     |

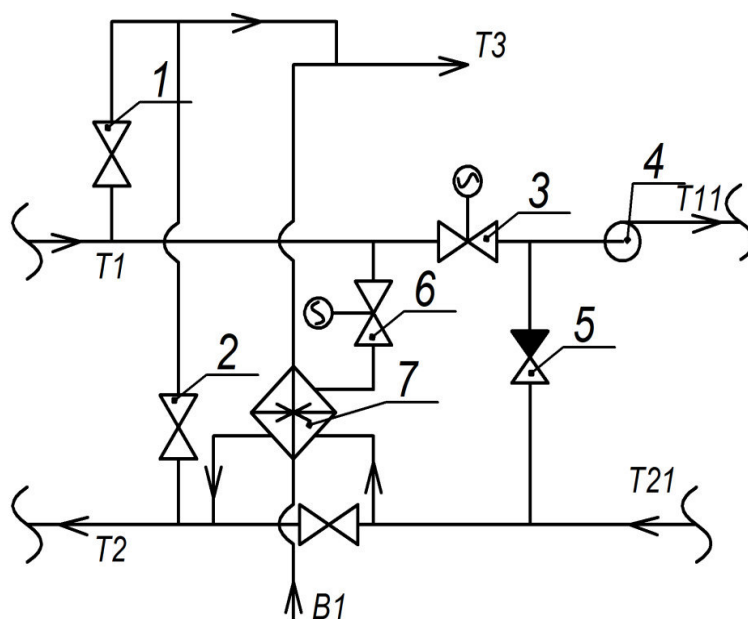


Рис. 1. Схема подготовки горячей воды в индивидуальном тепловом пункте жилого дома: 1, 2 – запорная арматура летнего ГВС, 3 – регулятор температуры системы отопления, 4 – циркуляционно-повысительный насос, 5 – обратный клапан, 6 – регулятор температуры ГВС, 7 – моноблочный подогреватель ГВС, T1 и T2 – подающий и обратный трубопровод теплосети, B1- ввод водопровода, T3 – подача горячей воды на цели ГВС, T11 и T21 – трубопроводы на входе и выходе из системы отопления

Снижение потребления в межотопительный период связано с предоставлением некачественных услуг ЖКХ и переходом населения на местные бойлеры-электронагреватели.

На основе данных табл. 1 определим требуемое количество тепловой энергии для подогрева горячей воды за каждый месяц 2017 год по формуле:

$$Q_{ГВ} = G_{ГВ} \cdot \rho \cdot c(t_{ГВ} - t_{ХВ}), \quad (1)$$

где  $t_{ГВ}$  – нормативная температура горячего водоснабжения,  $t_{ГВ} = 60$  °С;  $t_{ХВ}$  – температура холодной воды,  $t_{ХВ} = 5$  °С – в отопительный период и  $10$  °С – в межотопительный период.

Результаты расчета требуемой тепловой энергии на нагрев воды на нужды ГВС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Требуемая тепловая энергия на нагрев воды для целей ГВС

|  |        |         |          |         |        |         |
|--|--------|---------|----------|---------|--------|---------|
| Месяц                                  | Январь | Февраль | Март     | Апрель  | Май    | Июнь    |
| Тепловая энергия для нагрева ГВС, Гкал | 23,68  | 18,98   | 29,09    | 26,28   | 17,55  | 17,06   |
| Месяц                                  | Июль   | Август  | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
| Тепловая энергия для нагрева ГВС, Гкал | 19,91  | 18,68   | 17,89    | 27,25   | 25,52  | 28,17   |

В 2017 году был принят Приказ Минстроя России регламентирующий мероприятия по повышению энергоэффективности в многоквартирном доме (МКД) среди которых предлагается внедрение гибридной системы горячего водоснабжения с использованием солнечных коллекторов воды.

В настоящее время наибольшее распространение в системах солнечного теплоснабжения получили солнечные коллектора вакуумного типа. Основным элементом вакуумного коллектора являются стеклянные трубки покрытые специальным веществом, «притягивающим» солнечное излучение. Наружный и внутренний слои стеклянных трубок разделены вакуумом, что почти на 30% увеличивает КПД всей установки. Внизу трубки находится специальная жидкость, которая в результате нагревания от солнечного излучения превращается в пар, поднимаясь вверх, производит равномерное нагревание теплообменника по которому циркулирует теплоноситель осуществляющий перенос тепла в бак-аккумулятор.

Для включения в систему централизованного горячего водоснабжения предлагается модернизация оборудования индивидуального теплового пункта

жилого дома с внедрением подогревателя ГВС накопительного типа с последующим догревом (при необходимости) от теплосети в существующем скоростном подогревателе ГВС (рис. 2).

Величина среднемесячной инсоляции на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности для г. Омска приведена в табл.3 [2].

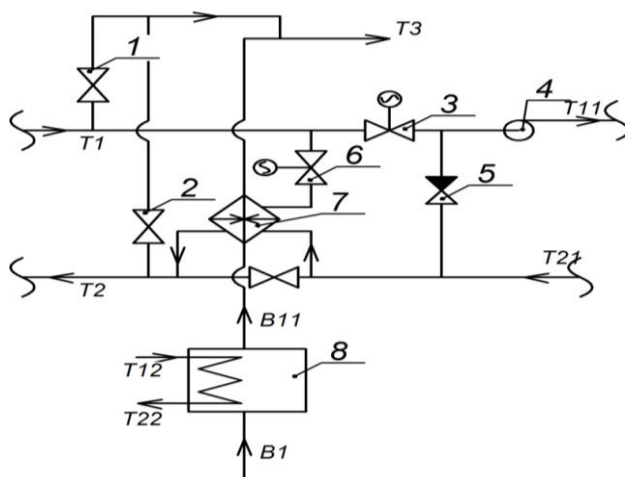


Рис. 2. Предлагаемая схема подготовки ГВС после модернизации: 1-7 то же что на рис. 1, 8 – бак-аккумулятор горячей воды, T12 и T22 – подающий и циркуляционный трубопровод от системы солнечных коллекторов

Принимая величину КПД солнечных вакуумных коллекторов на уровне 80% определим требуемую величину площади воспринимающей поверхности на основе данных табл. 2 и табл. 3 по формуле:

$$S_{\text{мес}} = (Q_{\text{ГВС}} / (I \cdot \eta)) \cdot 4,19 \cdot 10^9, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ГВС}}$  – месячное потребление тепловой энергии на цели ГВС, Гкал;  $I$  – среднемесячная величина инсоляции, Дж/м<sup>2</sup>;  $\eta$  – КПД солнечного коллектора;  $4,19 \cdot 10^9$  – переводной коэффициент из Гкал в Дж.

Таблица 3

Данные о среднемесячной инсоляции в г. Омске

| Месяц  | Янв.                  | Фев.                  | Март                  | Апр.                  | Май.                  | Июнь                  |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Среднемесячная величина инсоляции, Дж/м <sup>2</sup> | 84 · 10 <sup>6</sup>  | 168 · 10 <sup>6</sup> | 340 · 10 <sup>6</sup> | 456 · 10 <sup>6</sup> | 586 · 10 <sup>6</sup> | 640 · 10 <sup>6</sup> |
| Месяц  | Июль                  | Авг.                  | Сент.                 | Окт.                  | Нояб.                 | Декабрь               |
| Среднемесячная величина инсоляции, Дж/м <sup>2</sup> | 626 · 10 <sup>6</sup> | 486 · 10 <sup>6</sup> | 318 · 10 <sup>6</sup> | 164 · 10 <sup>6</sup> | 82 · 10 <sup>6</sup>  | 56 · 10 <sup>6</sup>  |

Данные о требуемой площади поверхности устанавливаемых солнечных коллекторов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Данные о среднемесячной инсоляции в г. Омске.

| Месяц   | Янв.    | Фев.   | Март   | Апр.   | Май.    | Июнь    |
|---|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Требуемая площадь поверхности солнечного коллектора, м <sup>2</sup> | 1476,78 | 591,72 | 448,15 | 301,85 | 156,85  | 139,60  |
| Месяц   | Июль    | Авг.   | Сент.  | Окт.   | Нояб.   | Декабрь |
| Требуемая площадь поверхности солнечного коллектора, м <sup>2</sup> | 166,57  | 201,31 | 294,71 | 870,38 | 1630,23 | 2634,93 |

Из табл. 4 видно, что для обеспечения горячей водой в период с апреля по сентябрь (6 месяцев) от солнечных коллекторов, их совокупная площадь поверхности находится в пределах 300 кв.м.

Произведем оценку капитальных затрат в систему солнечного теплоснабжения на базе солнечных коллекторов совокупной площадью 309 м<sup>2</sup> [3]: затраты в солнечные коллектора (JHC-30) 110 шт – 4,21 млн. руб.; баки-аккумуляторы объемом 5 куб. (2 шт) – 0,6 млн. руб.; насосное оборудование и трубопроводы обвязки – 0,4 млн. руб.; затраты на монтаж – 0,4 млн. руб. Итого 5,71 млн. руб.

В табл. 5 сведем данные о величине тепловой энергии для нагрева горячей воды, замещенной в течение года солнечными коллекторами.

Таким образом, в течение календарного года выработка тепловой энергии коллекторами составит 295,43 Гкал, что при тарифе АО «ОмскРТС» по сетям МП г. Омска 1499,18 руб/Гкал (с 1 июля 2018 года) [4] эквивалентно 442,9 тыс. руб.

Таким образом, расчетный срок окупаемости внедрения солнечных коллекторов составит – 12,9 года.

Таблица 5

Данные о величине замещаемой тепловой нагрузки вакуумными коллекторами

| Месяц   | Янв.  | Фев.  | Март  | Апр.  | Май.  | Июнь    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Величина тепловой нагрузки, Гкал                                    | 6,19  | 12,39 | 25,07 | 33,63 | 43,22 | 47,20   |
| Месяц   | Июль  | Авг.  | Сент. | Окт.  | Нояб. | Декабрь |
| Требуемая площадь поверхности солнечного коллектора, м <sup>2</sup> | 46,17 | 35,84 | 23,45 | 12,09 | 6,05  | 4,13    |

Данный срок окупаемости является довольно большим и превышает нормативный срок окупаемости в теплоэнергетике, однако стоит отметить, что в г. Омске есть ряд теплоисточников с тарифами на отпуск тепловой энергии 1800 – 2200 руб/Гкал для потребителей которых срок окупаемости мероприятий будет на уровне 8 – 10 лет и менее.

Еще одним технологическим решением по энергосбережению в системе внутреннего водоснабжения и водоотведения является утилизация тепла стоков. Стоки после санитарно-технических устройств имеют температуру на уровне 30 °С, существующие технические решения позволяют утилизировать ее температуру в кожухотрубных теплообменных аппаратах с нагревом воды до 20 – 25 °С. Таким образом, в существующую схему приготовления горячей воды предлагается установить перед двухступенчатым теплообменником на ГВС рекуперативный теплообменник, в котором греющей средой будут являться канализационные стоки (рис. 3).

Возможная величина утилизируемой тепловой энергии при охлаждении стоков на 10 °С и КПД теплообменного аппарата на уровне 10 % приведена в табл. 6.

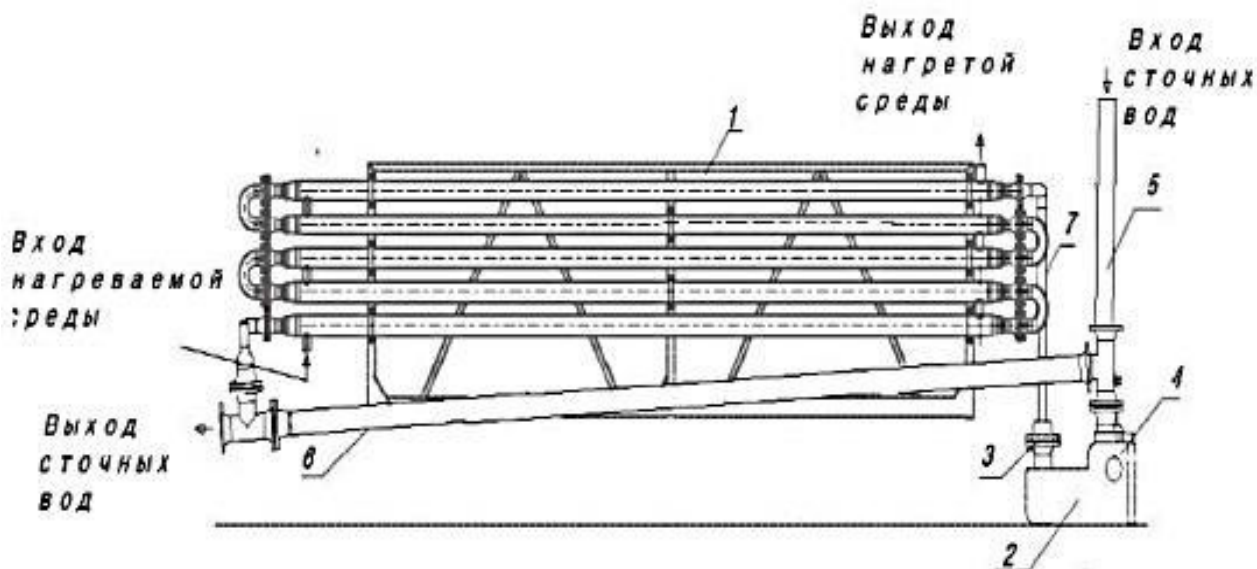


Рис. 3. Схема компоновки утилизатора с циркуляционным насосом и канализационными трубами (1 – утилизатор теплоты сточных вод; 2 – побудитель циркуляции с фекальным насосом 3 и приемным резервуаром 4; 5 – канализационный стояк, 6 – канализационный выпуск – байпас; 7 – напорный трубопровод подачи сточных вод в утилизатор).

Величина среднемесячной утилизируемой теплоты

|                                      |       |       |       |       |       |         |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Месяц                                | Янв.  | Фев.  | Март  | Апр.  | Май.  | Июнь    |
| Величина утилизируемой теплоты, Гкал | 12,32 | 11,75 | 12,72 | 11,72 | 11,30 | 12,89   |
| Месяц                                | Июль  | Авг.  | Сент. | Окт.  | Нояб. | Декабрь |
| Величина утилизируемой теплоты, Гкал | 12,53 | 10,98 | 11,65 | 12,84 | 11,88 | 13,14   |

Таким образом, при расчете экономического эффекта от внедрения рекуператора сточных вод получили: рекуператор сточных вод (5 куб.м/ч) – 450 тыс. руб; бак-аккумулятор объемом 0,3 куб.м (для работы насоса) – 50 тыс. руб; фекальный насос – 25 тыс. руб; байпасная линия – 25 тыс. руб; затраты на монтаж – 150 тыс. руб. Эксплуатационные расходы – 50 тыс.руб/год. Итого 750 тыс. руб. Годовая экономия составит 218,5 тыс. руб. Простой срок окупаемости – 3,4 г.

#### Список литературы

1. Приказ от 15 февраля 2017 № 98 «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме».
2. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*». Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 108 с.
3. Профессиональное оборудование для солнечной энергетики – Режим доступа: <http://ekoprojekt-energo.ru/jhc-30> – Загл. с экрана.
4. Тарифы и нормативы по горячей воде. – Режим доступа: [https://www.omskrts.ru/users/people/tariffs/hot\\_water/](https://www.omskrts.ru/users/people/tariffs/hot_water/) – Загл. с экрана

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Глухов Сергей Витальевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: svgluk@mail.ru

### **Глухова Мария Викторовна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: Marta\_omgups@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Glukhov Sergey Vitalyevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor of «Heat power engineering» OSTU.

E-mail: svgluk@mail.ru

### **Glukhova Maria Viktorovna**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor of «Heat power engineering» OSTU.

E-mail: Marta\_omgups@mail.ru

УДК 621.311

### **А. С. Гусаров, В. В. Овсянников**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННОГО ЦИКЛА ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ С РЕГЕНЕРАТИВНЫМ ОТБОРОМ ПАРА**

*Рассмотрено влияние регенерации на эффективность работы паротурбинной установки.*

*Ключевые слова: комбинированный цикл, необратимость, паротурбинная установка, параметры пара.*

### **Artem S. Gusarov, Vitaliy V. Ovsyannikov**

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF THE HEATING CYCLE OF STEAM- TURBINE INSTALLATION WITH REGENERATIVE SELECTION OF STEAM**

*The impact of regeneration on overall performance of steam-turbine installation is considered.*

*Key words: combined cycle, irreversibility, steam turbine unit, parameters of the vapor.*

В работах [1, 2, 3] приведены результаты термодинамического анализа эффективности цикла паротурбинной установки, работающей с отбором пара для целей теплофикации. Найдены соотношения по определению термодинамического КПД и энергетических характеристик турбины вплоть до расчета характерной величины - выработки количества электроэнергии на тепловом потреблении на основе измеряемых параметров рабочего цикла по реальному состоянию рабочего процесса. Эти результаты стали возможными благодаря известным программным методам вычисления параметров пара в расчетных точках реализуемого рабочего цикла турбины.

Вместе с тем применение регенеративного подогрева питательной воды теоретически обоснованного средства повышения эффективности цикла в вышеуказанных работах не рассматривалось. Поэтому можно считать аналитическое описание комбинированного цикла неполным. Следовательно, ставится задача найти способ оценить эффективность комбинированного цикла с учетом не только доли отбора пара на теплофикацию, но и части отбора пара на регенеративный подогрев питательной воды, дать оценку влияния регенеративного подогрева на эффективность реализуемого более сложного теплофикационного цикла.

Для решения поставленной задачи рассмотрели цикл паротурбинной установки с тремя регенеративными отборами. Принципиальная схема изображена на рис. 1, а рабочий процесс при регенерации пара в координатах T-S показан на рис. 2.

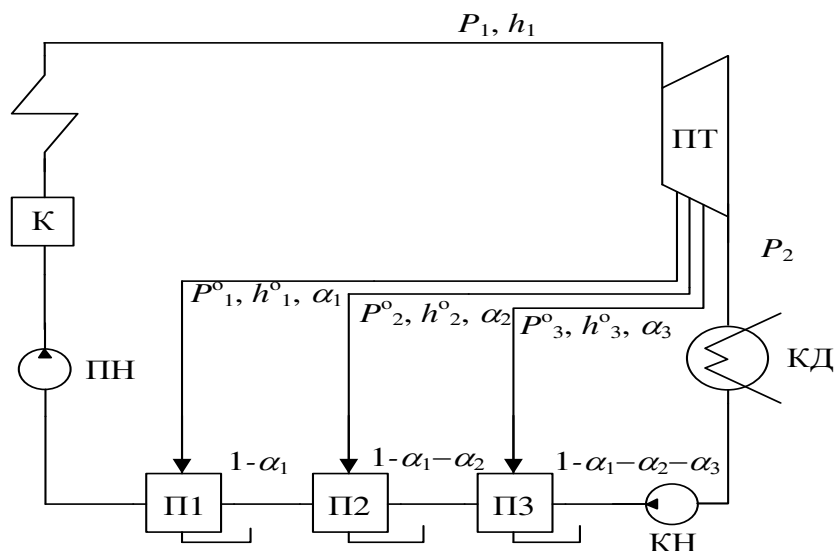


Рис. 1. Условные обозначения: К – котельный агрегат; ПТ – паровая турбина; КН и ПН – конденсатный и питательный насосы; КД – конденсатор; П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub> – регенеративные подогреватели питательной воды смешивающего типа

Указаны параметры пара до и после турбины, а также параметры пара в отборах на регенеративный подогрев и доли отборов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  на регенеративные подогреватели соответственно  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$ .

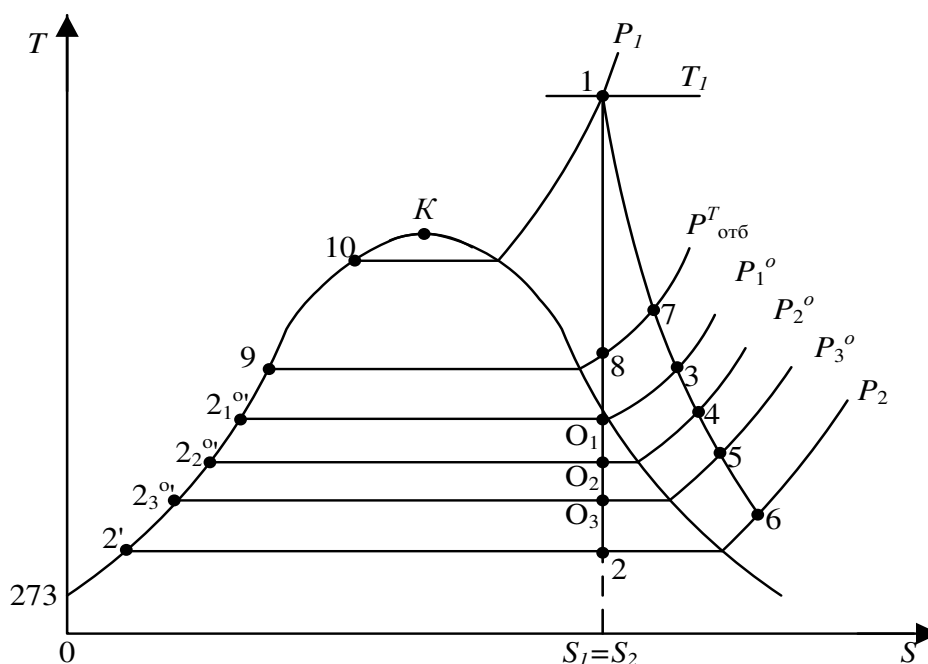


Рис. 2. Рабочий процесс комбинированного цикла с регенеративными отборами

Обозначение на рисунке:  $P_1, T_1$  – давление и температура пара перед турбиной;  $P_2$  – давление пара за турбиной;  $P_1^o, P_2^o, P_3^o$  – давление пара в регенеративных отборах;  $P_{отб}^T$  – давление пара в теплофикационном отборе.

Укажем здесь, что если известны обозначенные параметры и значение относительного внутреннего КПД проточных частей турбины высокого ЧВД, среднего ЧСД и низкого ЧНД давлений -  $\eta_{oi}^{ЧВД}, \eta_{oi}^{ЧСД}, \eta_{oi}^{ЧНД}$ , то с помощью программного обеспечения вычисляются значения энтальпий и энтропий водяного пара во всех обозначенных точках на рис. 2 комбинированного цикла с теплофикационным и регенеративным отборами пара.

В качестве примера в таблице 1 приведены расчетные результаты значений параметров в обозначенных точках.

Расчетные данные по известным параметрам состояния пара

Таблица 1

| Параметр                         | Обозначенные точки |                |                |                |       |          |                              |                              |                              |
|----------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                  | 1                  | O <sub>1</sub> | O <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | 2     | 2'       | 2 <sub>3</sub> <sup>o'</sup> | 2 <sub>2</sub> <sup>o'</sup> | 2 <sub>1</sub> <sup>o'</sup> |
| Абсолютное давление, МПа         | 12                 | 0,8            | 0,4            | 0,1            | 0,004 | 0,004    | 0,1                          | 0,4                          | 0,8                          |
| Уд. объем, υ, м <sup>3</sup> /кг | 0,0288             | 0,238          | 0,438          | 1,488          | 30,96 | 0,001004 | 0,001043                     | 0,001084                     | 0,001115                     |
| Температура, t, °С               | 540                | 170,4          | 143,6          | 99,62          | 28,96 | 28,98    | 99,62                        | 143,6                        | 170,4                        |
| Удельная энтальпия, h, кДж/кг    | 3454               | 2751           | 2624           | 2400           | 1994  | 121,4    | 417,4                        | 604,7                        | 721,1                        |
| Удельная энтропия, S, кДж/(кг·К) | 6,621              | 6,621          | 6,621          | 6,621          | 6,621 | 0,4226   | 1,303                        | 1,777                        | 2,046                        |
| Степень сухости пара, x          | -                  | 0,991          | 0,946          | 0,878          | 0,770 | 0        | 0                            | 0                            | 0                            |

Для решения поставленной задачи воспользуемся поэтапным анализом частных более простых решений

Этап А. Теоретический цикл с регенеративными отборами пара (без отборов пара на теплофикацию и изоэнтропийном расширении пара).

Массовые доли отборов пара в регенеративных подогревателях П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub> соответственно  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  определим из уравнений тепловых балансов подогревателей:

для П1

$$\alpha_1 h_{0_1} + (1 - \alpha_1) h_{2_2}^{o'} = h_{2_2}^{o'}, \quad (1)$$

Для П2

$$\alpha_2 h_{0_2} + (1 - \alpha_1 - \alpha_2) h_{2_3}^{o'} = (1 - \alpha_1) h_{2_2}^{o'}, \quad (2)$$

Для П3

$$\alpha_3 h_{0_3} + (1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3) h_2^i = (1 - \alpha_1 - \alpha_2) h_{2_3}^{o'}. \quad (3)$$

Отсюда:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{h_{2_1}^{o'} - h_{2_2}^{o'}}{h_{o_1} - h_{2_1}^{o'}}; \\ \alpha_2 &= (1 - \alpha_1) \frac{h_{2_2}^{o'} - h_{2_3}^{o'}}{h_{o_2} - h_{2_3}^{o'}}; \\ \alpha_3 &= (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \frac{h_{2_3}^{o'} - h_2'}{h_{o_3} - h_{2_3}^{o'}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Полезная работа теоретического регенеративного цикла будет определяться суммой полезных составляющих работы каждого потока пара в отборе, т.е.

$$l_u^{pez} = l_{1-\alpha_1-\alpha_2-\alpha_3} + l_{1-\alpha_1-\alpha_2} + l_{1-\alpha_1} + l_1$$

или

$$l_u^{pez} = (h_1 - h_2)(1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3) + (h_1 - h_{o_3})\alpha_3 + (h_1 - h_{o_2})\alpha_2 + (h_1 - h_{o_1})\alpha_1. \quad (5)$$

Подведенное тепло в регенеративном цикле определяется разностью энтальпий,

$$q_1 = h_1 - h_{2_1}^{o'} \quad (6)$$

Термический КПД находится по формуле для любого теплового цикла

$$\eta_t^{pez} = \frac{l_u^{pez}}{q_1}. \quad (7)$$

На этом же этапе уместно оценить термический КПД цикла Карно в реализуемом температурном диапазоне

$$T_1 \div T_2 \quad (T_1 = t_1 + 273 = 540 + 273 = 813K, T_2 = t_2 + 273 = 28,96 + 273 \cong 302K)$$

$$\eta_t^k = 1 - \frac{T_2}{T_1}; \quad (8)$$

Теоретического цикла Ренкина

$$\eta_t^{pen} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}; \quad (9)$$

Регенеративного цикла при полной регенерации, т.е. когда температура питательной воды после регенерации будет равна температуре кипения воды при давлении генерации пара в точке  $2_1^{o'}$  (170,4 °С).

$$\eta_t^{n.per} = 1 - \frac{q_2^{n.per}}{q_1^{n.per}}, \quad (10)$$

где  $q_1^{\text{н.рег}}$  и  $q_2^{\text{н.рег}}$  подведенная и отведенная теплота в регенеративном цикле с полной регенерацией

$$\begin{aligned} q_2^{\text{н.рег}} &= (1 - \alpha_1^{\text{н.п.}} - \alpha_2^{\text{н.п.}} - \alpha_{31}^{\text{н.п.}})(h_1 - h_2'), \\ q_1^{\text{н.рег}} &= h_1 - h_2'. \end{aligned} \quad (11)$$

Для взятого примера (табл.1) приведены результаты расчета в табл. 2.

Этап Б. Выясним, как влияет необратимость регенеративного цикла паротурбинной установки на его термический КПД.

Заметим, что необратимость цикла обусловлена тепловыми потерями в действительном процессе расширения пара в проточной части турбины. Для оценки этих потерь зададимся относительным внутренним КПД равным 0,82. Для упрощения будем считать его значение одинаковым как для части высокого давления, так и для частей среднего и нижнего давлений. В конкретном случае эти значения могут быть приняты по паспортным данным турбины.

Действительный процесс расширения пара уже не будет изоэнтروпийным. Он условно обозначен на рис. 2 кривой с точками 1-7-3-4-5-6 и изображен в координатах Т-S. Из рисунка видим, что параметры пара в точках 3, 4, 5, соответствующих регенеративному отбору изменяются, но давления пара в этих точках будут соответствовать давлениям регенеративного отбора:  $P_3 = P_1^o$ ;  $P_4 = P_2^o$ ;  $P_5 = P_3^o$ . Точка 6 будет на изобаре  $P_2$ .

Из тепловых балансов регенеративных подогревателей при неизменных параметрах пара нетрудно определяют расчетные характеристики регенеративных подогревателей и в целом регенеративного цикла для действительного рабочего процесса паротурбинной установки.

Расчет параметров пара в точках регенеративного отбора, выполнен с помощью программного обеспечения и представлен в табл. 2.

Определение параметров пара в точках регенеративного отбора действительного процесса расширения пара.

Сравнивая данные табл. 1 и табл. 2, замечаем, что в действительности процесс расширения пара его параметры ( $t$ ,  $S$ ,  $h$ ) претерпели изменения, точки  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  изоэнтропийного процесса приняли положение в точках 3 – 5 условного состояния действительного процесса расширения из-за некоторого перегрева пара. Только точка 5 осталась в области влажного пара, но с повышенной степенью сухости по сравнению с точкой  $O_3$ .

Таблица 2

| Наименование параметров пара            | Обозначение точек |         |        |         |        |
|---|-------------------|---------|--------|---------|--------|
|   | 1                 | 3       | 4      | 5       | 6      |
| Абсолютное давление $P$ , МПа           | 12                | 0,8     | 0,4    | 0,1     | 0,004  |
| Удельный объем $v$ , м <sup>3</sup> /кг | 0,002878          | 0,272   | 0,4829 | 1,63    | 30,54  |
| Температура $t$ , °С                    | 540               | 216,9   | 159,3  | 99,62   | 28,96  |
| Удельная энтропия $S$ , кДж/(кг·К)      | 6,621             | 6,895   | 6,978  | 7,129   | 7,490  |
| Удельная энтальпия $h$ , кДж/кг         | 3454              | 2877,54 | 2773,4 | 2589,72 | 2256,8 |
| Степень сухости, $x$                    | -                 | -       | -      | 0,962   | 0,878  |

Изменяются тепловые балансы подогревателей, а также доли регенеративных отборов:  $\alpha_1^o$ ,  $\alpha_2^o$ ,  $\alpha_3^o$  – доли отбора в действительном процессе для первого, второго и третьего подогревателя соответственно.

$$\alpha_1^o = \frac{h_{2_2}^{o'} - h_{2_2}^{o'}}{h_3 - h_{2_1}^{o'}}, \quad (12)$$

$$\alpha_2^o = \frac{h_{2_2}^{o'} - h_{2_3}^{o'}}{h_5 - h_{2_3}^{o'}} (1 - \alpha_1^o), \quad (13)$$

$$\alpha_3^o = \frac{h_{2_3}^{o'} - h_{2_3}^{o'}}{h_5 - h_{2_3}^{o'}} (1 - \alpha_1^o - \alpha_2^o), \quad (14)$$

На этом этапе, как и на этапе А, термический КПД действительного регенеративного цикла определим отношением суммарной полезной работы пара  $\sum l_o$  к количеству тепла, подведенному в цикле по формуле:

$$\eta_t^{o,pez} = \frac{\sum l_o}{q_1^o} \quad (15)$$

Для определения суммарной полезной работы воспользуемся правилом аддитивности:

$$\sum l_o = \sum_{i=1}^n l_i^o \cdot \alpha_i^o + l_k^o \cdot (1 - \sum \alpha_i^o), \quad (16)$$

где  $l_i^o$  – полезная работа потока пара каждого регенеративного отбора в действительном процессе, кДж/кг;  $\alpha_i^o$  – доля пара, отбираемого в каждом регенеративном отборе;  $l_k^o$  – полезная работа потока пара, направляемая в конденсатор, кДж/кг.

Представляя действительный процесс работы потока пара каждого регенеративного отбора как политропный процесс расширения, полезную работу определим по термодинамической связи:

$$l_i^{\circ} = q_i^{\circ} - \Delta u_i^{\circ}, \quad (17)$$

где  $q_i^{\circ}$  – подведенное (отведенное) тепло, в каждом процессе расширения пара регенеративного отбора, кДж/кг;  $\Delta u_i^{\circ}$  – изменение внутренней энергии каждого потока пара регенеративного отбора, кДж/кг.

С учетом направленности процесса работы пара в политропном процессе тепло  $q_i^{\circ}$  определим по формуле:

$$q_i^{\circ} = T_{cp\ i} (S_{ki} - S_{ni}), \quad (18)$$

где  $T_{cp\ i} = \frac{T_{ni} + T_{ki}}{2} = \left( \frac{t_{ni} + t_{ki}}{2} + 273 \right)$  – средняя абсолютная температура пара в политропном процессе работы потока пара, К;  $S_{ki} - S_{ni}$  – разность энтропии пара в конечном и начальном состоянии политропного процесса.

Учитывая направленность определим и изменение внутренней энергии пара по формуле:

$$\Delta u_i^{\circ} = (h_{ki} - h_{ni}) - (P_{ki} v_{ki} - P_{ni} v_{ni}), \quad (19)$$

где  $h_{ki}$ ,  $h_{ni}$ ,  $P_{ki}$ ,  $v_{ki}$ ,  $P_{ni}$ ,  $v_{ni}$  – соответственно энтальпии кДж/кг, давления, Па, удельные объемы, м<sup>3</sup>/кг пара в начале и конце процесса политропного действительного процесса расширения пара в регенеративном цикле.

Для вычисления полезной работы потока пара, направляемого в конденсатор, воспользуемся зависимостями (17), (18) и (19), так как процесс этого потока тоже будет политропным.

Используя предыдущие зависимости легко сравнить, как изменяются все расчетные данные для регенеративного цикла паротурбинной установки, если при одном и том же исходном состоянии пара перед турбиной рабочий процесс его расширения представлять как изоэнтропийный или как действительный (условный) с учетом сопутствующих теплофизических потерь, обуславливающих его осуществление.

Рассмотренный трехступенчатый подогрев питательной воды в теоретическом регенеративном цикле повышает термический КПД, что согласуется с известными теоретическими выводами. Увеличение составляет 4,6 %. Если же применять предельную регенерацию, то она приближает КПД теплового цикла к значению КПД цикла Карно, реализуемого в рассматриваемом диапазоне температуры рабочего тела.

#### Список литературы

1. Гусаров, А. С. О влиянии необратимости в термодинамическом цикле паротурбинной установки с отбором пара на его термический КПД /

А. С. Гусаров, В. В. Овсянников // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов под ред. Акад. РАН В. Е. Накорякова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Вып. 20. – С. 183 – 188.

2. Гусаров, А. С. Зависимость термического КПД комбинированного цикла с отбором пара от начальных и конечных параметров рабочего тела / А. С. Гусаров, В. В. Овсянников // Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2017.

3. Гусаров, А. С. Определение энергетических показателей турбоустановки, работающей по комбинированному циклу / А. С. Гусаров, В. В. Овсянников // Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2018.

4. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, Шейдлин А. Е. – М.: «Энергия», 1968 г. – 472 с.

5. Теплотехника / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров и др.; под. ред. В. Н. Луканина. – М.: Высш. Шк. 2000. – 671 с.

6. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции / В. Я. Рыжкин / под ред В. Я. Гиршфельда. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Гусаров Артем Сергеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Преподаватель кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23

E-mail: henaro9812@gmail.com

##### **Овсянников Виталий Васильевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23

E-mail: witaliy1936@yandex.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Gusarov Artem Sergeevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Lecturer of the Department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23

E-mail: henaro9812@gmail.com

##### **Ovsyannikov Vitaliy Vasilevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph.D. in Technical Sciences, Associate professor of «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: witaliy1936@yandex.ru

**А. В. Рожкова, В. К. Гаак**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОСЕТИ**

*В статье приведен анализ схем подключения установки водоподготовки, а также описан процесс повышения энергетической эффективности обработки подпиточной воды путем нагрева исходной воды, используя низко потенциалные и экономичные источники теплоты теплоэлектростанции.*

*Ключевые слова: деаэратор, водоподготовка, декарбонизатор, обработка воды, энергетическая эффективность, подогреватель, теплосеть.*

**Anastasia V. Rozhkova, Viktor K. Gaak**

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF TREATMENT OF MAKEUP WATER HEATING SYSTEMS**

*The article presents an analysis of the connection schemes of the water treatment plant, as well as describes the process of improving the energy efficiency of treatment of make-up water by heating the source water, using low potential and economical sources of heat of the thermal power plant.*

*Key words: deaerator, water treatment, decarbonizer, water treatment, energy efficiency, heater, heating system.*

В процессе подготовки воды необходимо уделять большое внимание подогреву подпиточной воды. При этом необходимо стабильно и экономично поддерживать необходимые режимы вакуумной деаэрации, определяемые типом деаэраторов, которые используются в процессе водоподготовки, а также качеством исходной воды и методами додеаэрационной обработки. Для нормальной, эффективной и экономичной работы вакуумного деаэратора воду необходимо нагревать до температуры 35 – 45°С. На ТЭЦ с малыми расходами подпиточной воды существует проблема экономичного подогрева исходной

воды перед химической очисткой и вакуумным деаэратором. Для решения этой проблемы была разработана схема подогрева исходной воды для ТЭЦ с малыми расходами, представленная на рис. 1.

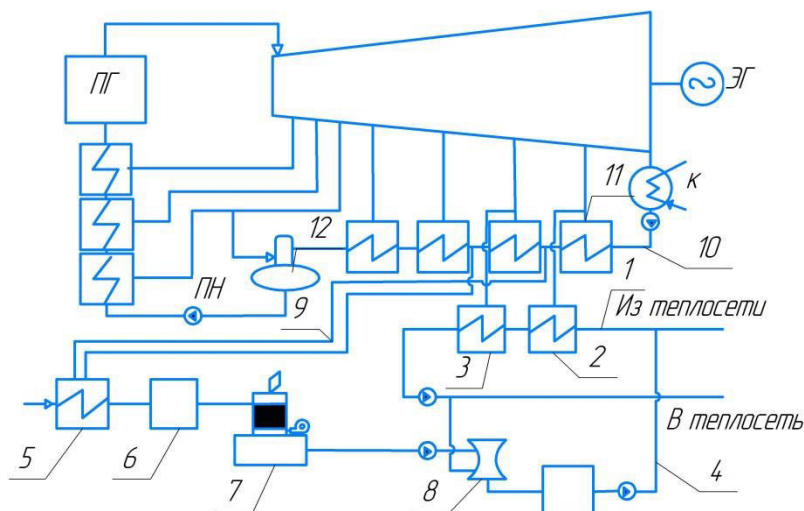


Рис. 1. Схема подогрева исходной воды ТЭЦ с малыми расходами подпиточной воды теплосети

На рисунке обозначены: 1 – сетевой трубопровод; 2, 3 – нижний и верхний сетевые подогреватели; 4 – трубопровод подпиточной воды; 5 – подогреватель исходной воды; 6 – узел умягчения; 7 – декарбонизатор; 8 – вакуумный деаэратор; 9 – трубопровод охлажденного конденсата; 10 – трубопровод основного конденсата турбины; 11 – регенеративный подогреватель низкого давления.

Отличительной чертой данного способа подогрева исходной воды является способ подключения подогревателя исходной воды. В данном случае водоводяной теплообменник подключен по греющей среде к трубопроводу основного конденсата турбины после прохождения конденсатом одного из регенеративных подогревателей низкого давления. Здесь исходная вода после прохождения через теплообменник нагревается до температуры 35 – 45°C. Данной температуры вполне достаточно для эффективной декарбонизации и деаэрации. Далее нагретая вода проходит узел умягчения, а также декарбонизатор и вакуумный деаэратор, после чего поступает в сетевой трубопровод, смешиваясь с обратной сетевой водой, которая возвращается от потребителей. Но так же необходимо нагреть сетевую воду, этот процесс протекает в верхнем и нижнем сетевых подогревателях. Затем вода разделяется на два потока, один из которых идет к потребителям, а второй подается в качестве греющей среды в

вакуумный деаэратор.

Для открытых систем теплоснабжения наиболее эффективна схема подогрева на ТЭЦ подпиточной воды изображенная на рис. 2.

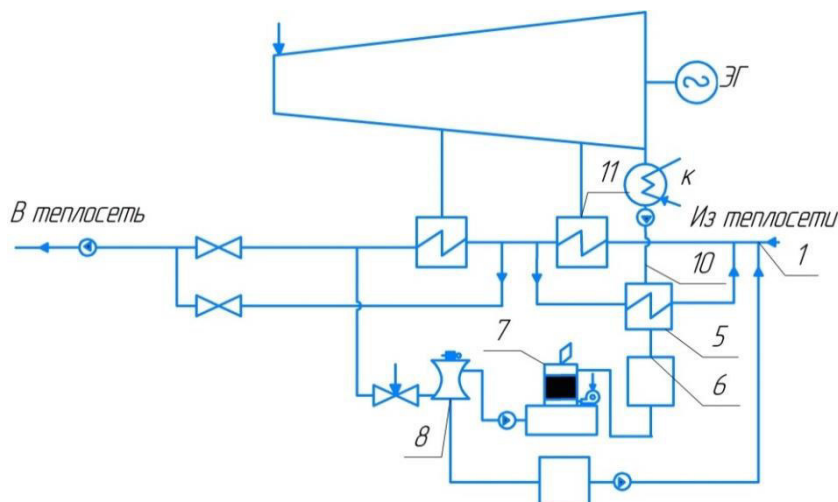


Рис. 2. Схема подогрева подпиточной воды на ТЭЦ для открытых систем теплоснабжения

Здесь водоводяной подогреватель подпиточной воды встроен после конденсатора турбины. Греющим агентом для подогревателя 5 является сетевая вода, которая отобрана после нижнего сетевого подогревателя. Здесь температура сетевой воды после верхнего сетевого подогревателя составляет 90-100°C, на протяжении всего года, эта вода используется в качестве греющего агента для сетевого подогревателя, а температура сетевой воды после нижнего подогревателя 65 – 85°C, этого вполне достаточно для того, чтобы подогреть исходную воду до 35 – 45°C.

Такая схема значительно повышает качество подготовки подпиточной воды, так как необходимый режим стабилен и надежен на протяжении всего года. При этом такой режим выдерживается при достаточно высокой тепловой экономичности электростанции, потому что для подогрева подпиточной воды используют сетевую воду, отбираемую после нижнего сетевого подогревателя.

На рис. 3 изображена схема подготовки подпиточной воды, в которой нагрев исходной воды осуществляется конденсатом нижнего сетевого подогревателя. После нагрева подпиточной воды перед вакуумной деаэрацией охлажденный конденсат нижнего сетевого подогревателя отводится в трубопровод основного конденсата турбины перед первым подогревателем низкого давления [1].

На рис. 4 греющим агентом для водоводяного подогревателя сетевой воды выступает питательная вода, отобранная после атмосферного деаэрата питательной воды.

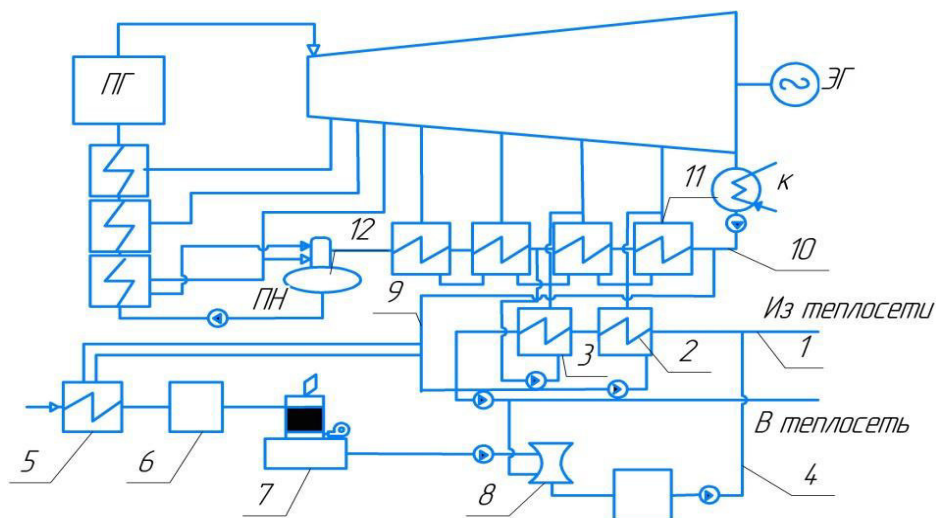


Рис. 3. Схема подогрева исходной воды

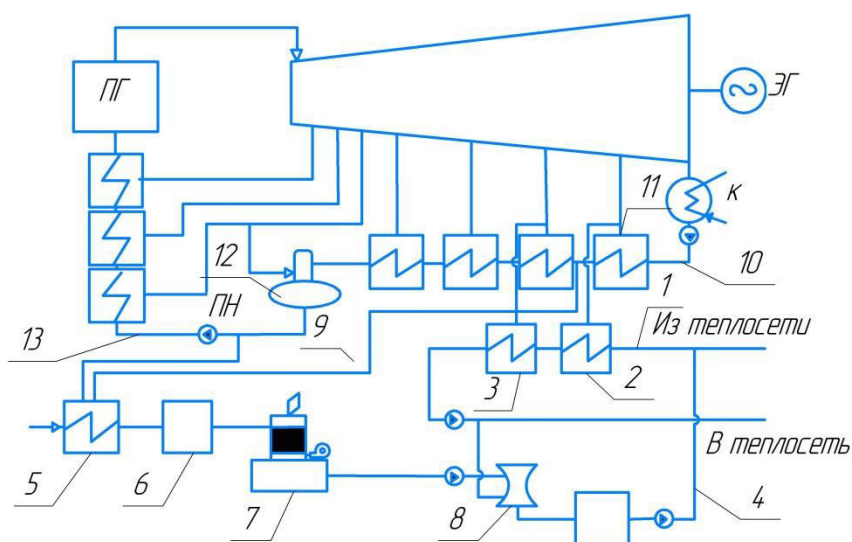


Рис. 4. Схема подогрева исходной воды

Здесь 10 – питательный трубопровод; 12 – деаэратор питательной воды; 13 – узел умягчения.

Рассмотрим схемы подогрева греющего агента для вакуумного деаэрата, изображенные на рис. 5 и рис. 6. Подключение арматуры по таким схемам гарантирует обеспечение нагрева до необходимой температуры воды, которая используется в качестве греющего агента в вакуумных деаэратах.

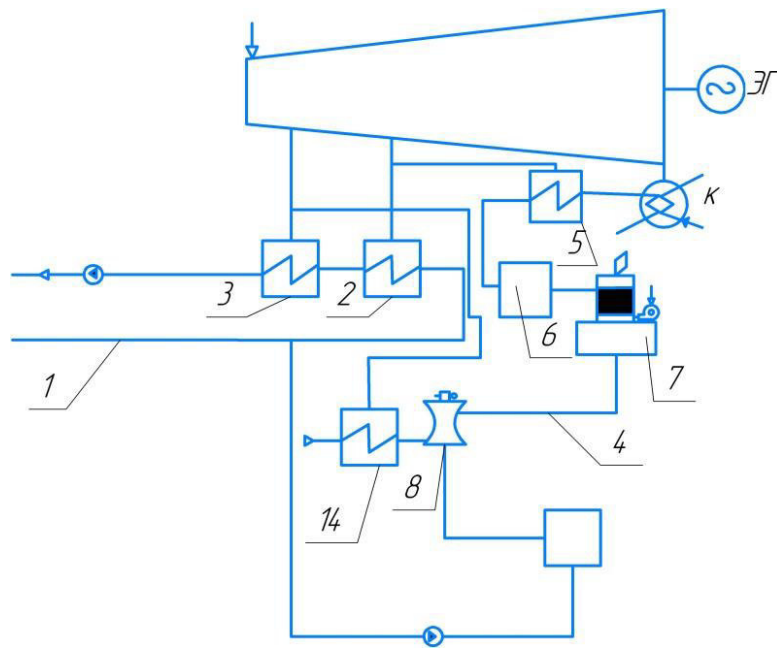


Рис. 5. Схема подогрева греющего агента вакуумного деаэрата

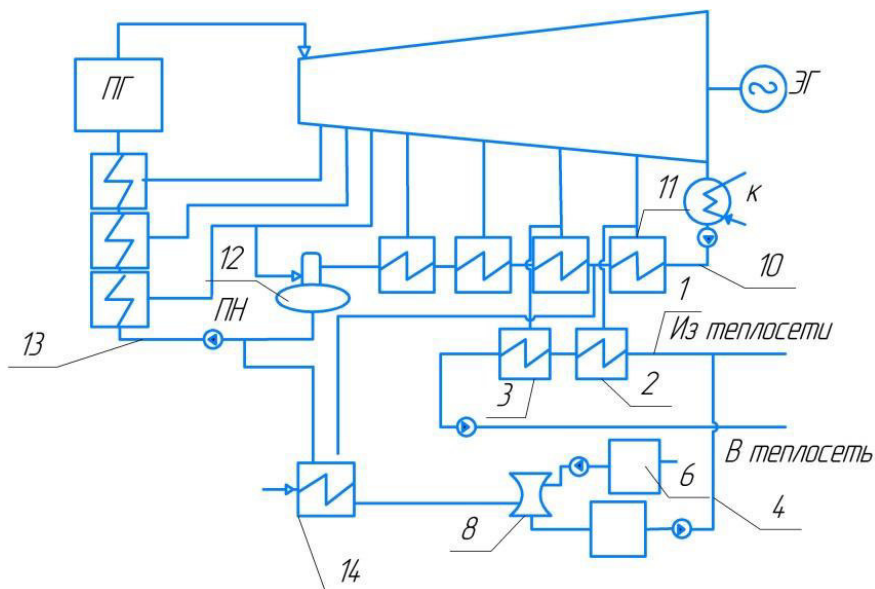


Рис. 6. Схема подогрева греющего агента вакуумного деаэрата

В пятой схеме греющий агент для подогревателя вакуумного деаэрата отбирают параллельно верхнему сетевому подогревателю.

В шестой схеме в качестве греющего агента используют воду, которую отбирают после деаэрата питательной воды.

Для того чтобы повысить энергетическую эффективность вакуумной деаэрации необходимо усовершенствовать способы регулирования процесса или схемы включения вакуумных деаэраторов в турбоустановки. Одна из таких схем представлена на рис. 7.

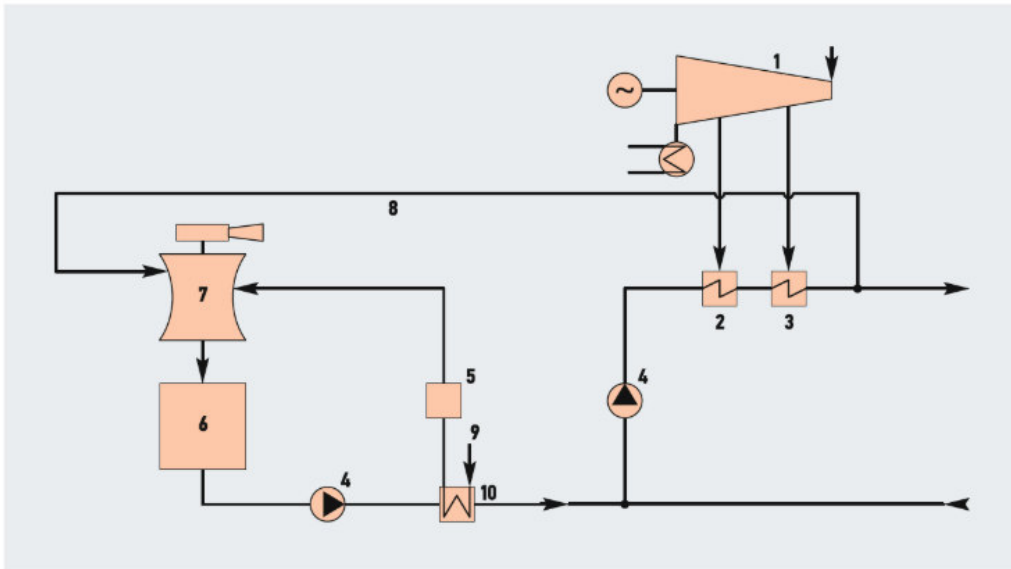


Рис. 7. Схема включения вакуумного деаэратора подпиточной воды теплосети на тепловой электростанции

На схеме 1 – теплофикационная турбина; 2 – нижний сетевой подогреватель; 3 – верхний сетевой подогреватель; 4 – трубопровод обратной сетевой воды; 5 – водоподготовительная установка; 6 – бак-аккумулятор; 7 – деаэратор; 8 – трубопровод греющего агента; 9 – трубопровод исходной сырой воды; 10 – поверхностный подогреватель исходной воды.

В данном случае исходную сырую воду нагревают до необходимой температуры 35 – 45 °С в поверхностном подогревателе 10, далее вода проходит водоподготовительную установку 5 и деаэрацию в вакуумном деаэраторе 7. В вакуумный деаэратор при этом в качестве греющего агента поступает перегретая сетевая вода. Далее деаэрированную подпиточную воду, которая имеет температуру 50 – 60 °С, подуют в бак-аккумулятор 6, откуда с помощью насоса она поступает в качестве греющего агента в подогреватель исходной воды, что позволяет ей отдать необходимое количество теплоты исходной воде и охладиться до температуры 30 – 45 °С. Подача воды с такой температурой в обратную сетевую воду снижает температуру сетевой воды и увеличивает на турбине 1 выработку электроэнергии.

У такой технологии имеется существенный минус: она не обеспечивает равномерный нагрев исходной воды, так как в течение дня расход подпиточной воды колеблется в большом диапазоне (от нуля до максимума). Следовательно, теряется стабильность нагрева исходной воды, а это ухудшает качество деаэрации и понижает надежность и экономичность ТЭЦ.

Для того чтобы обеспечить более стабильный нагрев исходной воды были предложены две новые схемы работы вакуумной деаэрационной установки, изображенной на рис. 8 и рис. 9.

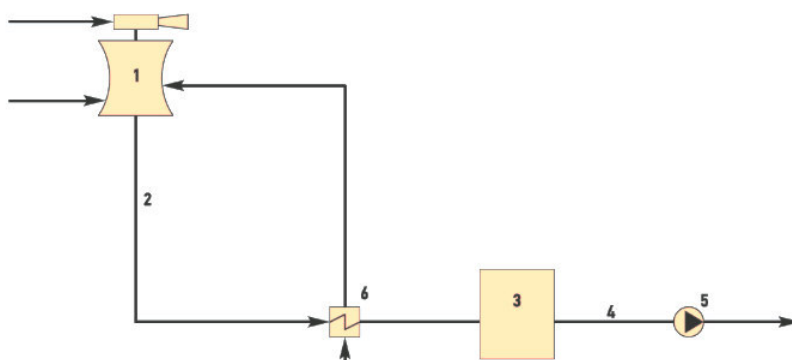


Рис. 8. Схема включения подогревателя исходной воды вакуумного деаэратора подпиточной воды

На данной схеме 1 – вакуумный деаэратор; 2 – сливной трубопровод; 3 – бак-аккумулятор; 4 – трубопровод деаэрированной подпиточной воды; 5 – подпиточный насос; 6 – подогреватель исходной воды.

Особенность решения, представленного на рис. 8, заключается в том, что подогреватель исходной воды 6 включён по греющей среде в трубопровод слива 2 деаэрированной воды из вакуумного деаэратора 1 в бак-аккумулятор 3 [5].

Где 7 – Регулятор подпитки теплосети; 8 – трубопровод-перемычка; 9 – регулирующий орган регулятора расхода; 10 – датчик расхода.

На схеме подпиточная сетевая вода проходит через вакуумный деаэратор и по сливному трубопроводу поступает в бак-аккумулятор, а затем по трубопроводу 4 проходит через датчик расхода 10, охлаждается в подогревателе исходной воды 6 и через регулятор подпитки теплосети 7 подается в теплосеть. При этом между подогревателем исходной воды и регулятором подпитки теплосети врезан трубопровод-перемычка 8, соединенный со сливным трубопроводом. В трубопроводе 8 установлен регулирующий орган регулятора расхода 9.

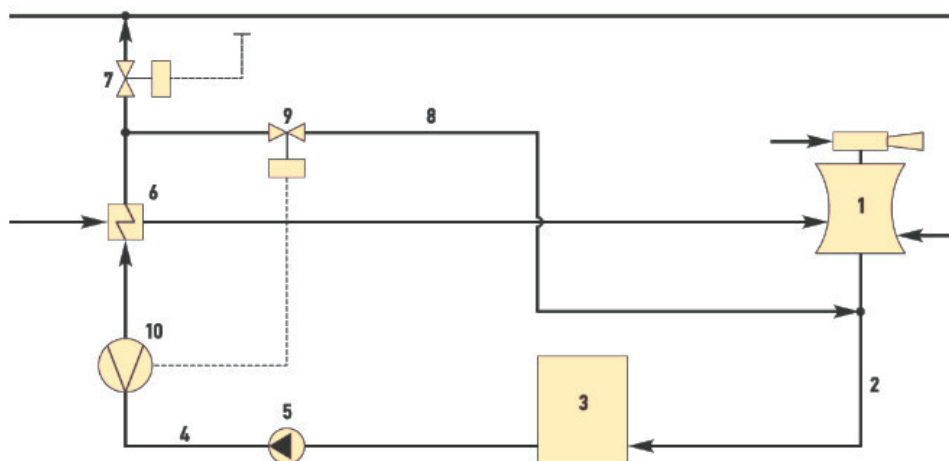


Рис. 9. Схема стабилизации подогрева исходной воды перед вакуумным деаэратором

Если протекает маленький расход, то от датчика расхода поступает сигнал на регулирующий орган, который открывается и деаэрированная вода через трубопровод-перемычку поступает в сливной трубопровод. Таким образом, происходит поддержание стабильного расхода подпиточной воды через подогреватель, что в свою очередь обеспечивает стабильный нагрев исходной воды.

Изучив и проанализировав данные схемы можно сделать выводы:

1. Энергетическая эффективность ТЭЦ существенно зависит от температурного режима подготовки подпиточной воды теплосети.

2. Рассмотрены варианты включения вакуумных деаэрационных установок в тепловые схемы ТЭЦ, обеспечивающие работу теплофикационных турбин с пониженной температурой подпиточной воды.

3. Предложены решения, обеспечивающие стабильную работу вакуумных деаэраторов при максимальной экономичности работы теплофикационных турбоустановок.

4. Предложены решения поддержания температурного режима при высокой тепловой экономичности, при этом используя тепло низкопотенциальных отборов турбин

## Список литературы

1. Шарапов, В. И. Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов [Текст] / В. И. Шарапов. – М.: Энергоатомиздат, 1996 – С. 176
2. Патент РФ 2147356. Способ работы системы теплоснабжения [Текст] / В. И. Шарапов, П. Б. Пазупкин // Открытия. Изобретения – 2001. – №10. – С. 200.
3. Карелин, В. А. Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды [Текст] / В. А. Карелин// Издательство томского политехнического университета. – 2012. – С. 97
4. Шарапов, В. И. Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС [Текст] / В. И. Шарапов // Труды Академэнерго. – 2015. – №2. – С. 27 – 37.
5. Патент РФ №177330. МПК F22D1/50, F22D5/26. Вакуумная деаэрационная установка [Текст] / В. И. Шарапов, Р. А. Гафуров // Заявл. 14.11.2017; опубл. 15.02.2018. Б.И. – 2018. – №5. – С. 200

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Рожкова Анастасия Владимировна**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,  
Российская Федерация.  
Магистр кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: anastasiya\_rozhk@mail.ru.

**Гаак Виктор Климентьевич**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: GAAKVK@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Rozhkova Anastasia Vladimirovna**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Master of the department "Heat power  
engineering" OSTU.  
E-mail: anastasiya\_rozhk@mail.ru

**Gaak Viktor Klimentevich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Profressor of the  
cathedra «Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: GAAKVK@gmail.com

**А. В. Кушнарченко**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **ДИНАМИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

*Проведен анализ возможности расчета плановой потребности в энергоресурсах на основе «больших данных» и машинного обучения для энерготехнологических процессов нефтеперерабатывающих производств (НПЗ).*

*Ключевые слова: энергоресурсы, нефтеперерабатывающий процесс, условное топливо, нормирование.*

**Anton V. Kushnarenko**

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **DYNAMIC RATIONING OF ENERGY RESOURCES**

*The analysis of a possibility of calculation of planned need for energy resources on the basis of "big data" and machine learning for power technological processes of oil processing productions (oil refinery) is carried out.*

*Key words: energy resources, oil processing process, conditional fuel, rationing.*

В операционной деятельности НПЗ нормативы на энергетику по ряду причин формируются субъективно, при этом существует фактор недобросовестной подтасовки параметров на установках для соответствия с плановыми показателями. Есть понимание, что нормативы достаточно объективны и зависят от нескольких факторов (загрузка по сырью, качество топлива, температура окружающего воздуха и т.п.). Попытки подбора линейных зависимостей приводят к малой сходимости с фактом  $\pm 5\%$ . Предполагается применять непараметрические модели машинного обучения для получения более объективной картины расхода ресурсов на установках.

В данном исследовании фокус направлен на создание моделей машинного обучения, направленных на расчет нормативов комплексной установки первичной переработки нефти (УППН).

Для первичного анализа были получены данные с УППН от 01.01.2016 по 31.12.2018 гг. Математический анализ показал сильную изменчивость целевых показателей после периода модернизации. Возникающие аномалии и нехарактерное поведение целевых величин, связанные с проведением профилактических работ на установке (чистки поверхностей нагрева, чистки аппаратов воздушного охлаждения), в итоге сократили период обучающей выборки для текущей модели. В качестве предикторов использовалось изначально 14 факторов, которые в настоящее время учитываются при планировании. Для улучшения прогнозируемых целевых показателей предоставлен полный дата сет, состоящий из 2526 признаков, где 1423 из них имеют значимый вклад в расчет. В итоге некоторые показатели подвергались “чистке” и заполнению пропущенных значений путем средних или медианных величин, в зависимости от того, как распределяется количественный фактор. Далее была установлена степень зависимости самих предиктивных факторов между собой и выявление значимых характеристик. Полученная модель при помощи алгоритмов машинного обучения для прогнозирования целевых переменных оптимизировалась с использованием подходов регуляризации и валидации алгоритмов.

Таблица 1

Целевые переменные

| Целевой показатель                          | Сокращение |
|---|------------|
| Норма расхода условного топлива, кг у.т./тн | NRUT       |
| Норма расхода теплоэнергии, Гкал/тн         | NRT        |
| Норма расхода электроэнергии, кВт·ч/тн      | NRE        |
| Выработка пара, Гкал/сут.                   | VP         |

Для наглядного результата представлена диаграмма зависимостей факторов – это так называемая heat map. На пересечении факторов можно определить, насколько сильная зависимость между ними. Показатель зависимости варьируется от  $-1$  до  $1$ , и чем ближе к  $1$  или  $-1$ , тем сильнее устанавливается взаимодействие факторов, чем ближе к  $0$  – тем слабее.

Далее потребовалось:

- выбрать факторы, которые слабо коррелируют друг с другом, иначе нарушится условия мультикоррелиальности.

- проверить на нормальность распределения признаков.
- выбрать ряд факторов, которые достаточно значимо коррелируют с целевой переменной.

Корреляционная матрица по данным УППН представлена на рис. 1:



Рис. 1. Корреляционная диаграмма для факторов

Таблица 2

Факторы, влияющие на все топливо-энергетические ресурсы

| Предиктивный показатель           | Сокращение | Важность |
|-----------------------------------|------------|----------|
| Сырье на установку, тн/сут        | SNU        | 57-84%   |
| Загрузка вакуумного блока, тн/сут | ZVB        | 30-40%   |

Таблица 3

Дополнительные факторы, влияющие на потребление топлива

| Предиктивный показатель                 | Сокращение | Важность, % |
|---|------------|-------------|
| Температура низ К-1                     | TI531      | 22,23       |
| Уровень рефлюкса в Е-2                  | LC1442     | 9,93        |
| Давления газа в Е-6                     | PI374      | 7,84        |
| Температура бензина на выходе из Т-15/3 | TI867      | 5,15        |
| Перепад давления на фильтрах Ф-6,7      | PI378      | 4,41        |
| Температура бензина на выходе из Т-15/4 | TI868      | 3,71        |

По «Норме расхода условного топлива» получилось достичь вклад факторов (предикторов) до 89% при использовании алгоритма Random Forest (случайный лес). Показатель достаточно высокий.

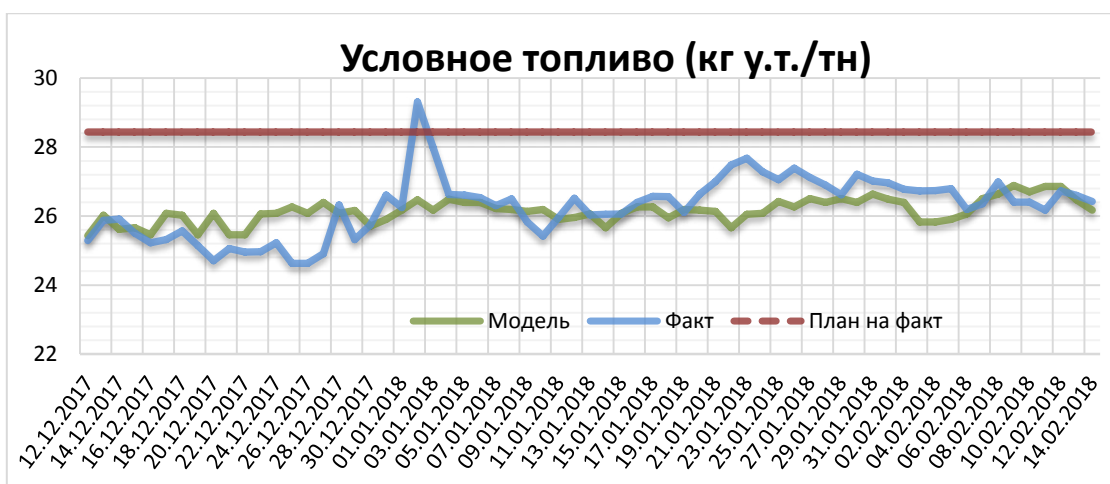


Рис. 2. Прогнозирование условного топлива для УППН

Таблица 4

Отклонение модели и плана от факта для условного топлива

| Параметр                      | Значение |
|-------------------------------|----------|
| Удельная норма (модель)       | 26,150   |
| Удельная норма (факт)         | 26,284   |
| Удельная норма (план на факт) | 28,44    |
| Отклонение МОДЕЛИ от ФАКТА    | -0,51%   |
| Отклонение ПЛАНА от ФАКТА     | +8,20%   |

Предварительные прогнозные значения по модели, настроенная на полном дата сете (используемые данные с 12.12.2017 по 14.02.2018): по «Норме расхода электроэнергии» получилось достичь вклад факторов до 75% при использовании алгоритма дерева решений (DecisionTree) + Adaboost.

По «Норме расхода теплоэнергии» получилось достичь вклад факторов до 54% при использовании алгоритма Naïve\_Bayes (наивный Бэйс). Низкий показатель – необходимы дополнительные факторы для улучшения качества.

По предварительной модели получается, что норма расхода до и после капремонта сильно различаются при одинаковых условиях работы. Плотность распределений, которое говорит, что значения после ремонта (желтый) сильно отличается, что было до (голубой), когда модель настроена как раз на данных до ремонта, что сказывается на достаточно большой ошибке прогнозируемых данных в силу невозможности алгоритма экстраполировать значения.

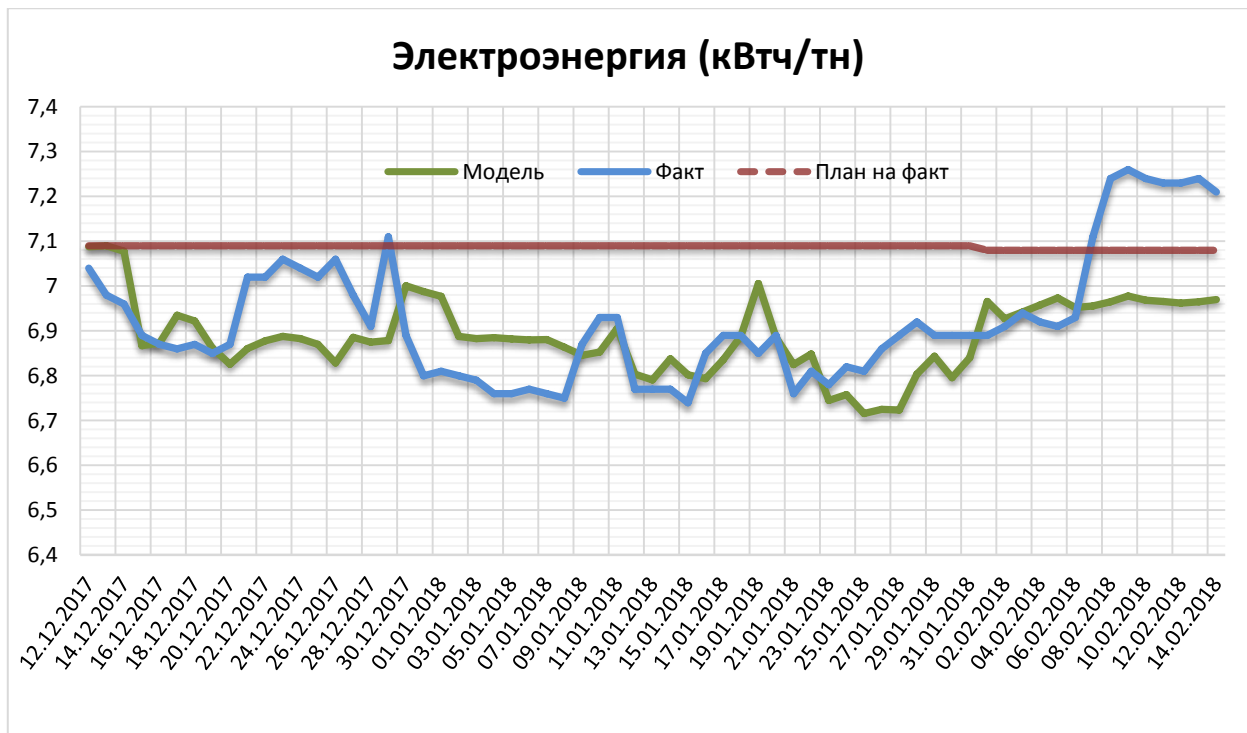


Рис. 3. Прогнозирование электроэнергии для УППН

Таблица 5

Отклонение модели и плана от факта для электроэнергии

| Параметр                      | Значение |
|-------------------------------|----------|
| Удельная норма (модель)       | 6,890    |
| Удельная норма (факт)         | 6,924    |
| Удельная норма (план на факт) | 7,08     |
| Отклонение МОДЕЛИ от ФАКТА    | -0,49%   |
| Отклонение ПЛАНА от ФАКТА     | +2,25%   |

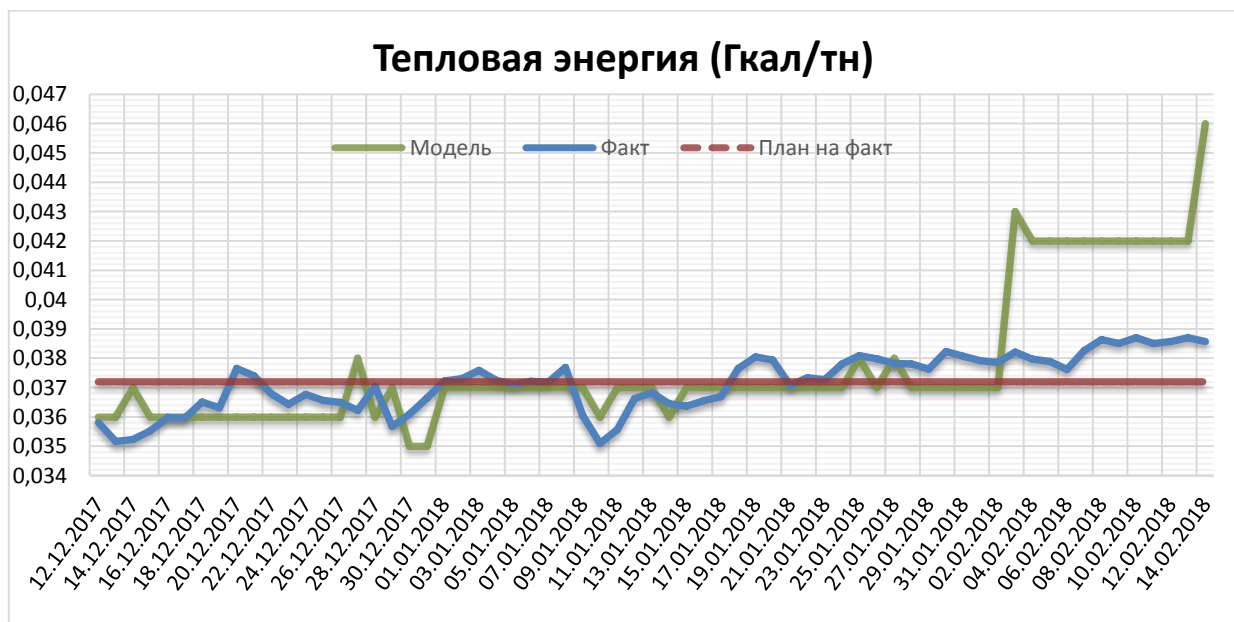


Рис. 4. Прогнозирование тепловой энергии для УППН

## Отклонение модели и плана от факта для тепловой энергии

| Параметр                      | Значение |
|-------------------------------|----------|
| Удельная норма (модель)       | 0,0377   |
| Удельная норма (факт)         | 0,0372   |
| Удельная норма (план на факт) | 0,0372   |
| Отклонение МОДЕЛИ от ФАКТА    | +1,49%   |
| Отклонение ПЛАНА от ФАКТА     | 0,00%    |

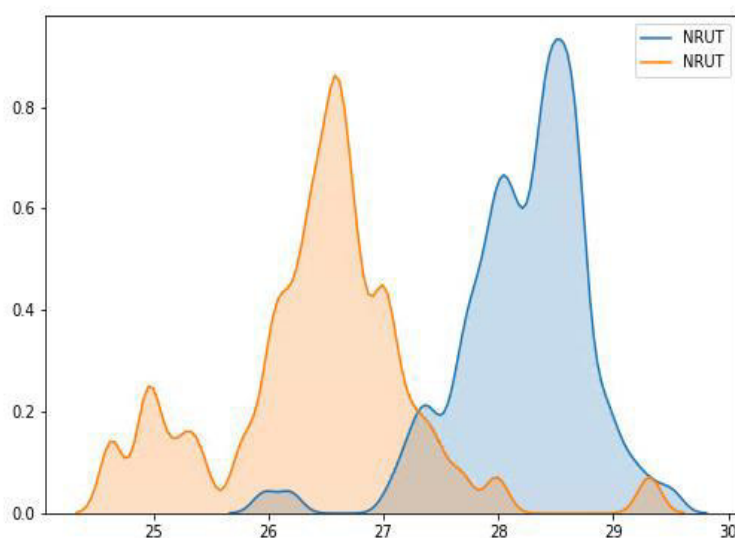


Рис. 5. Распределение условного топлива до капитального ремонта (голубой) и после (желтый)

Промежуточные выводы:

1. Установление более жестких нормативов на ежедневном уровне. Экономический эффект от динамического нормирования по УППН составит 15,8 млн. руб. Эффект достигается за счет снижения плановых норм по модели относительно текущего планирования. Эффект по основному производству может варьироваться от 40 до 70 млн. руб. за год.

2. Наличие возможности постановки цели по расходу энергоресурсов на день, а также ежечасно. Выявление всех фактов нарушения режима энергосбережения в онлайн режиме и их фиксация для дальнейшего анализа, а не анализ средних за месяц показателей.

3. Повышение уровня каскадирования общезаводских целей до уровня бригад. Каждая бригада будет знать, как она отработала свою смену, какой вклад она внесла в общезаводские показатели эффективности.

## Список литературы

1. Основы статистики – <https://stepik.org/course/76>
2. Машинное обучение – <https://www.coursera.org/learn/machine-learning/home/welcome>
3. <https://habr.com/company/ods/blog/322626/>

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кушнаренко Антон Вячеславович**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика»,  
ОмГУПС.  
E-mail: kushnarenko\_av@mail.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kushnarenko Anton Vyacheslavovich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Graduate student of «Heat power engineering»,  
OSTU.  
E-mail: kushnarenko\_av@mail.ru

УДК 629.1

**В. М. Лебедев<sup>1</sup>, В. К. Гаак<sup>1</sup>, Ю. И. Сафронова<sup>2</sup>, А. Е. Пушина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация.

<sup>2</sup>Сибирский государственный автомобильно-дорожный университете (СибАДИ),  
г. Омск, Российская Федерация

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ, РЕМОНТЕ И ОБСЛУЖИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ

*Приведены результаты совершенствования технологий автоматизированной доводки абразивными материалами прецизионных деталей ГТУ типа золотник и плунжер. Предложено регулирование условий доводки выполнять бегущим магнитным полем. Решение предусматривает улучшение выходных характеристик процесса: точности и шероховатости поверхностей деталей, а также повышение производительности доводки.*

*Ключевые слова: абразивная доводка, золотник, плунжер, прецизионные детали, ГТУ, магнитное поле, режим обработки, шероховатость.*

**Vitaliy M. Lebedev<sup>1</sup>, Viktor K. Gaak<sup>1</sup>, Yulia I. Safronova<sup>2</sup>, Aleksandra E. Pushina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation.

<sup>2</sup>Siberian state avtomobilno road university (SIBADI), Omsk, Russian Federation

## **NANOTECHNOLOGIES IN PRODUCTION, REPAIR AND SERVICE OF DETAILS POWER GTU**

*Results of improvement of technologies of the automated operational development by abrasive materials of precision details zolotnik GTU and a plunger are given. Regulation of conditions of operational development to carry out the running magnetic field is offered. The decision provides improvement of output characteristics of process: accuracy and roughness of surfaces of details and also increase in productivity of operational development.*

*Key words: abrasive operational development, zolotnik, plunger, precision details, GTU, magnetic field, processing mode, roughness.*

В конструкция дозирующих узлов, систем топливопитания и регулирования энергетических ГТУ к числу определяющих относят детали типа золотник, плунжер, игра дозирующая.

Параметры точности и шероховатости рабочих поверхностей деталей, входящих в узлы топливорегулирующей аппаратуры, во многом определяют в целом эксплуатационные характеристики установки: ресурс и надежность, гидроплотность со смежными деталями, усилие страгивания и другие [1]. Требования к качеству и эксплуатационные характеристики прецизионных деталей приведены в табл. 1.

К рассматриваемым прецизионным деталям предъявляют требования повышенной износостойкости. С учетом этого, детали проходят лазерное, плазменное и другие виды упрочнений с последующей размерной обработкой тонким шлифованием, хонингованием, суперфинишированием. Финишными являются операции автоматизированной доводки абразивными и алмазными материалами. Эти операции являются единственно возможным методом окончательной обработки сопрягаемых деталей, так как позволяют достигнуть  $Ra$  0,016 – 0,032 мкм и добиться, чтобы отклонения от заданной геометрической формы не превышали 0,5 – 0,2 мкм. Метод относят к наноабразивной обработке. Взаимодействие алмазных или абразивных зерен в виде паст или суспензий с обрабатываемым материалом заготовки сопровождается механическими, химическими, физическими и физико-

химическими процессами, которые определяют выходные параметры процесса доводки [2].

Таблица 1

Требования к деталям

| Деталь          | Материал      | Шероховатость $Ra$ , мкм | Геометрическая точность формы, мкм | Характеристика                            |
|-----------------|---------------|--------------------------|------------------------------------|---|
| Плунжер         | 25Ш5М<br>ШХ15 | 0,04–0,01                | 0,1–0,2                            | Гидроплотность<br>Ресурс                  |
| Золотник        | 9Х18<br>ШХ15  | 0,04–0,06                | 0,1–0,2                            | Гистерезис<br>характеристик<br>Надежность |
| Игла дозирующая | P18<br>P18M   | 0,06–0,08                | 0,4–0,7                            | Точность дозирования<br>Надежность        |

Установлено, что наиболее рациональной схемой финишной обработки является схема с бесцентровым базированием обрабатываемого изделия.

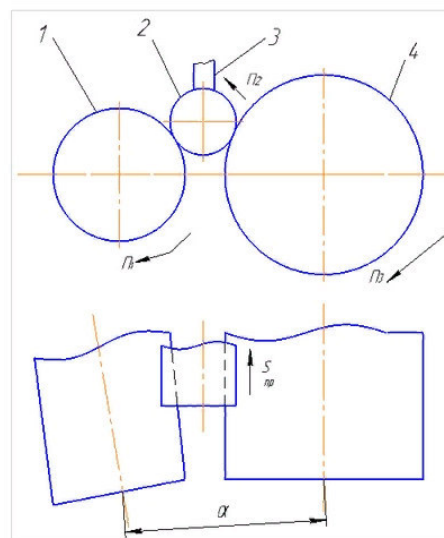


Рис. 1. Схема процесса бесцентровой доводки: 1, 4 – доводящие валики, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – прижимной нож,  $n_1, n_3$  – частота вращения доводящих валиков,  $n_2$  – частота вращения детали

В условиях опытного, единичного, мелкосерийного и серийного производств ряд преимуществ имеет технологический процесс абразивной доводки на бесцентрово-доводочных станках (БДС) [2, 3]. При бесцентровой доводке деталей (рис. 1) деталь 2 перемещается по вращающимся доводящим валикам 1 и 4. Прижим деталей с заданным усилием к доводящим

поверхностям валиков для обеспечения сил резания осуществляют с помощью прижимного ножа 3. Валики, расположенные на доводочном станке в горизонтальной плоскости, установлены под определенным углом  $\alpha$ , называемым углом раздвижки. Угол раздвижки обеспечивает продольное перемещение  $S_{пр}$  детали 2.

Такая технология обработки имеет ряд недостатков [4, 5]:

– контакт по линии обрабатываемой детали с доводящими поверхностями валиков невозможен одновременно с двумя валиками, что снижает производительность удаления припуска;

– сила прижима детали к доводящей поверхности валика на всем его протяжении постоянна (рис.2), однако вследствие раздвижки валиков по мере движения детали непрерывно сближается с горизонтальной осью валиков, то есть  $\Delta_{вых} < \Delta_{вх}$ . Это приводит к возрастанию контактного давления пары «деталь - валик» по мере перемещения деталей, а следствием этого является формирование разного износа валиков на входе и на выходе, что вызывает потерю точности обработки партии деталей;

– доводка деталей возможна только при наличии непрерывного столба деталей, хотя во многих случаях, например в условиях мелкосерийного производства или при наладке процесса, есть необходимость обработки единичных деталей;

– при обработке деталей необходимо изменять усилие прижима: если детали из разных материалов, когда детали проходят разные этапы обработки (предварительную, окончательную) и другие случаи, когда необходимо регулируемое усилие прижима;

– схема обработки не предусматривает регулирования значения подачи деталей в процессе обработки, что делает невозможным подбор оптимальных условий обработки для разнообразия размеров деталей и требований к качеству их поверхности;

– технология обработки на доводочных станках с углом раздвижки доводочных валиков практически не поддается автоматизации процесса, то есть имеет место влияние человеческого фактора на качество обработки.

Раздвижки валиков в процессе обработки вызывает непрерывное сближение оси детали с осями валиков. Исследования динамических характеристик процесса показали, что соотношение нормальных контактных напряжений в паре «деталь – валик» в начале  $\sigma_{Ннач}$  и  $\sigma_{Нкон}$  зоны обработки

находятся в диапазоне 1,5 – 2,5.

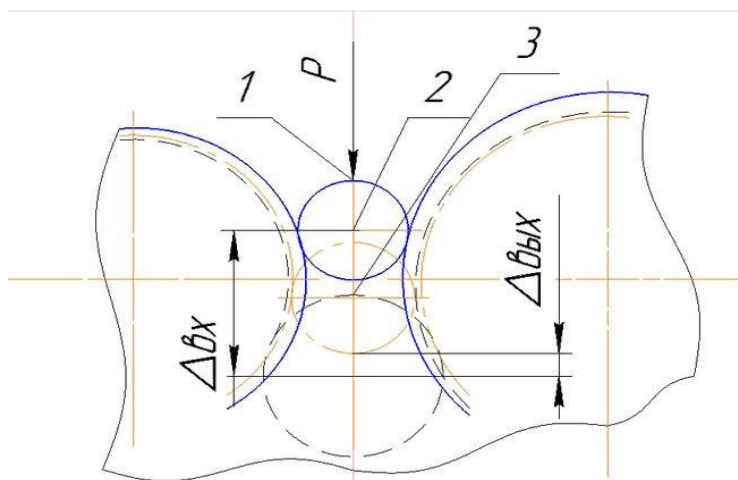


Рис. 2. Изменение положения обрабатываемого изделия в процессе доводки с раздвижкой валиков:

$P$  – сила прижима,  $\Delta_{вх}$  – положение центра изделия относительно центра валиков в начале обработки,  $\Delta_{вых}$  – положение центра изделия относительно центра валиков в конце обработки; 1 – обрабатываемое изделие в начале зоны обработки, 2 – обрабатываемое изделие в середине зоны обработки, 3 – обрабатываемое изделие в конце зоны обработки.

Перечисленные недостатки оказывают влияние на выходные характеристики процессов бесцентровой доводки. Предотвратить указанные недостатки можно путем установки доводящих валиков на станке параллельно друг другу и исключения механического прижимного устройства (ножа). При этом продольное перемещение и прижим обрабатываемых деталей предусмотрено наложением на них бегущего магнитного поля (БМП).

Для создания бегущего магнитного поля использованы индукторы. При установке индуктора в зону обработки деталей, то есть между доводящими валиками, и подключения обмоток к источнику тока образование суммарного магнитного поля происходит по схеме, указанной на рис. 3.

При подключении индуктора в каждой обмотке возникают вихревые токи, которые создают магнитный поток вокруг обмотки. Магнитные потоки единичных обмоток создают суммарный поток, направленный вдоль поверхности индуктора. Таким образом, при помещении ферромагнитных изделий в зону действия индуктора магнитный поток будет обеспечивать продольное перемещение и прижим обрабатываемых изделий к доводящим поверхностям.

Бегущее магнитное поле может быть описано уравнением Максвелла, из

которых исключен член, содержащий токи смещения [7]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= j; \\ \operatorname{rot} E &= -\mu \frac{\partial H}{\partial t}. \end{aligned}$$

Чтобы получить замкнутую систему, уравнения Максвелла должны быть дополнены условиями непрерывности векторов  $B$  и  $j$ :

$$\begin{aligned} \operatorname{div} B &= 0; \\ \operatorname{div} j &= 0. \end{aligned}$$

При этом известно, что векторы индукции и напряженности магнитного поля связаны зависимостью  $B = \mu H$ , где  $\mu$  – магнитная проницаемость среды;  $H$  – напряженность магнитного поля.

Также необходимо учесть дифференциальный закон Ома:

$$j = \sigma(E + vB),$$

где  $E$  – напряженность электрического поля,  $\sigma$  – электропроводность детали,  $v$  – скорость движения среды

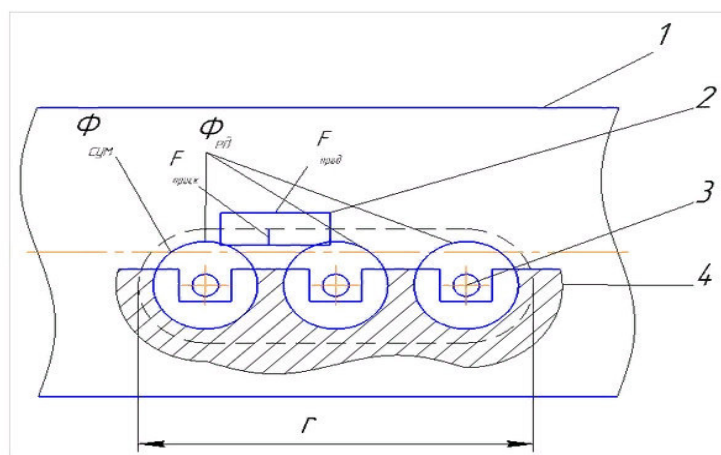


Рис. 3. Схема использования БМП для создания заданного вектора перемещения обрабатываемого элемента (второй валок условно не показан):

1 – доводящий валок, 2 – обрабатываемое изделие, 3 – обмотка, 4 – индуктор,  
 $\Phi_{ед}$  – направление магнитного потока, создаваемого единичной обмоткой индуктора,  
 $\Phi_{сум}$  – направление суммарного магнитного потока, создаваемого единичных обмоток,  
 $\tau$  – полюсный шаг индуктора,  $F_{прод}$  – сила продольного перемещения изделия, создаваемая магнитным потоком  $\Phi_{сум}$ ,  $F_{приж}$  – сила прижима изделия к доводящим поверхностям, создаваемая магнитным потоком  $\Phi_{сум}$ .

Сила, действующая в поперечном направлении на помещенное в БМП ферромагнитное тело, определяется по формуле [8]:

$$F_{\text{приж}} = \frac{\omega \sigma \mu^2 H_0^2}{2} \operatorname{Im} \left[ \frac{e^{-(\beta + \beta^*)x}}{\beta} \right],$$

где  $\omega$  – круговая частота тока, питающего индуктор,  $H_0^2$  – комплексная амплитуда напряженности магнитного поля,  $\beta$  – аргумент безразмерного комплекса,  $\beta^*$  – комплексно-сопряженный аргумент,  $\operatorname{Im}$  – мнимая часть комплексного числа.

Сила, действующая в продольном направлении на помещенное в БМП ферромагнитное тело, будет определяться по формуле:

$$F_{\text{прод}} = \frac{\alpha \omega \sigma \mu^2 H_0^2}{2|\beta|^2} e^{-(\beta + \beta^*)x},$$

где  $\alpha$  – параметр, характеризующий длину волны поля вдоль выбранного направления.

Отдельные результаты экспериментальных исследований и опытных работ по освоению технологии наноабразивной доводки в бегущем магнитном поле приведены в табл. 2.

Обобщение полученных результатов позволило установить, что технологическая схема доводки с наложением бегущего магнитного поля:

- существенно повышает точность обработки деталей;
- улучшает параметры шероховатости рабочих поверхностей;
- повышает производительность процесса доводки;
- снижает интенсивность изнашивания рабочих поверхностей доводящих валиков;
- повышение характеристики доводки деталей обеспечивает повышенный уровень надежности систем топливопитания и регулирования ГТУ.

Таблица 2

#### Результаты опытных работ

| Характеристики точности                                | Существующий технологический процесс | Предлагаемый технологический процесс |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Отклонения от точности формы в продольном сечении, мкм | 0,5 – 1,0                            | 0,05 – 0,1                           |
| Отклонения от точности формы в поперечном сечении, мкм | 0,8 – 1,0                            | 0,08 – 0,2                           |
| Шероховатость $Ra$ , мкм                               | 0,08 – 0,02                          | 0,04 – 0,0025                        |
| Производительность, дет./ч                             | 20                                   | 30                                   |
| Трудоемкость переналадки процесса обработки, мин       | 14                                   | 1,5                                  |
| Максимальный износ валиков (партия деталей 300 шт.), % | 8                                    | 2,4                                  |

Возможность регулирования режима обработки действием бегущего магнитного поля позволяет автоматизировать процесс доводки с исключением субъективного влияния оператора на выходные характеристики процесса.

#### Список литературы

1. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Л. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: Изд-во МЭН, 2003. – 584с.

2. Орлов, П. Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки / П. Н. Орлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 384с.

3. Вивденко, Ю. Н. Технология ремонта машин / Ю. Н. Вивденко, Г. А. Нестеренко, С. А. Резин. – Изд-во ОмГТУ, 2005. – 200с

4. Spiryagin, M. Active steering control system of a rail vehicle based on the analysis of the sound radiation / M. Spiryagin, K. S. Lee, H. H. Yoo, V. Spiryagin, Y. Vivdenko. – Institute of Noise Control Engineering of the USA – 22nd. National Conference on Noise Control Engineering, NOICE – CON 2007, 2007. – 278 – 287 с.

5. Панчук, К. Л. Профилирование дискового инструмента для обработки винтовых канавок детали / К. Л. Панчук, Ю. Н. Вивденко, А. В. Климов. – Омск: Омский научный вестник, 2008. – 35 – 40с.

6. Способ повышения долговечности трибосистемы / Н. Г. Макаренко, Ю. Н. Вивденко, О. А. Мамаев, А. А. Красноштанов, В. Р. Эдигаров, А.Н. Макаренко, С. А. Резин. – патент на изобретение RUS 2250410 16.07.2003.

7. Круминь, Ю. К. Основы теории и расчета устройств с бегущим магнитным полем / Ю.К. Круминь. – Рига: Зинатне, 1993. – 278с.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

##### **Лебедев Виталий Матвеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: Heatomgups@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

##### **Lebedev Vitaliy Matveevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of technical Sciences, Professor in the Department «Heat power engineering» OSTU.

E-mail: Heatomgups@mail.ru

**Гаак Виктор Климентьевич**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: GAAKVK@Gmail.com

**Gaak Viktor Klimentevich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Professor of the  
cathedra «Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: GAAKVK@gmail.com

**Сафронова Юлия Игоревна**  
Сибирский государственный автомобильно-  
дорожный университете (СибАДИ).  
644080, г. Омск, пр. Мира, 5.  
студент кафедры СибАДИ.

**Safronova Yulia Igorevna**  
Siberian state automobile road university  
(SIBADI).  
644080, Omsk, Mira Ave., 5.  
Student of department of SIBADI.

**Пушина Александра Евгеньевна**  
Сибирский государственный автомобильно-  
дорожный университете (СибАДИ).  
644080, г. Омск, пр. Мира, 5.  
студент кафедры СибАДИ.

**Pushina Aleksandra Evgenyevna**  
Siberian state automobile road university  
(SIBADI).  
644080, Omsk, Mira Ave., 5.  
Student of department of SIBADI.

УДК 662.61:662.93 (075.8)

**Д. О. Купин**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ**

*В статье приведены и описаны достоинства сжигания топлива в топках котлов с применением технологии кипящего слоя. Изложены сведения о составе вредных выбросов. Выявлены причины уменьшения выбросов и увеличения значения коэффициента теплоотдачи.*

*Ключевые слова: топливо, кипящий слой, вредные выбросы, коэффициент теплопроводности.*

**Denis O. Kupin**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ANALYSIS OF ADVANTAGES OF COMBUSTION OF SOLID FUEL IN THE BOILING LAYER**

*In article advantages of combustion of fuel in fire chambers of coppers with use of*

*technology of the boiling layer are brought and described. The information about structure of harmful emissions is stated. The reasons of reduction of emissions and increase in value of coefficient of a thermolysis are established.*

*Key words: fuel, the boiling layer, harmful emissions, thermolysis coefficient.*

Загрязнение теплоэнергетическими установками окружающей среды на сегодняшний день является острой экологической проблемой. При сжигании органических топлив в атмосферу выбрасываются их продукты сгорания: окислы углерода, серы, азота, а также летучая зола с недогоревшими частицами топлива. Большое количество этих выбросов является токсичным для человека и окружающей природы [1].

В настоящее время широко используются системы очистки дымовых газов от золы, однако токсичные газы практически не улавливаются. Одной из важнейших задач развития тепло- и электроэнергетики является сокращение выбросов прежде всего окислов азота и серы [1].

Перспективным кажется применение для сжигания твердого топлива котлоагрегатов с псевдоожиженным слоем серопоглощающих компонентов, работающих при температурах 800 – 850 °С [1].

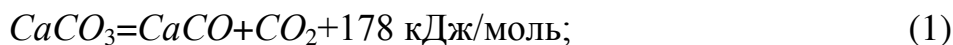
Ко всему выше перечисленному следует также отнести высокий коэффициент теплоотдачи, т.е. через небольшую площадь поверхности теплообмена отводится большее количество тепла. К тому же пучки труб поверхностей нагрева можно располагать в относительно узком пространстве. Данные обстоятельства дают возможность выполнить компоновку котлоагрегата более компактной [1].

Высокий коэффициент теплоотдачи обусловлен перемешиванием частиц и жидкости в псевдоожиженном слое, в результате чего выравнивается температура во всем слое. Движение частиц увеличивает коэффициент теплоотдачи к стенке и к поверхностям нагрева, погруженным в кипящий слой. Этому способствует разрушение препятствующего теплоотдаче граничного слоя на теплообменной поверхности, а также непосредственный контакт частиц с поверхностью теплообмена [2].

При реконструкции котлоагрегата ДКВр-2,5-14 путем установки топki с псевдоожиженным слоем его производительность увеличилась по пару с 2,5 до 4,4 т/ч. К тому же агрегат стал отпускать в теплосеть дополнительно 3,18 Гкал/ч [1].

После реконструкции котла ДКВр-10-13 было отмечено, что его теплопроизводительность была увеличена вдвое.[1]

При добавлении в кипящий слой присадки известняка или доломита, то произойдут следующие реакции:



Из рис. 1 следует, что для наиболее полного обессеривания температура слоя должна поддерживаться около 850 °С. При температурах выше указанной происходит обратное термическое разложение  $CaSO_4$  на составляющие, и вследствие этого степень обессеривания снижается. При температурах меньших 800 °С реакция протекает медленно и не полно. Степень обессеривания известняком зависит также от размера зерен и структуры пор. Поры известняка при горении поры увеличиваются, и увеличение их объема напрямую зависит от вида известняка. Например, меловой известняк из-за большей пористости лучше реагирует с  $SO_2$ , чем девонский. [2]

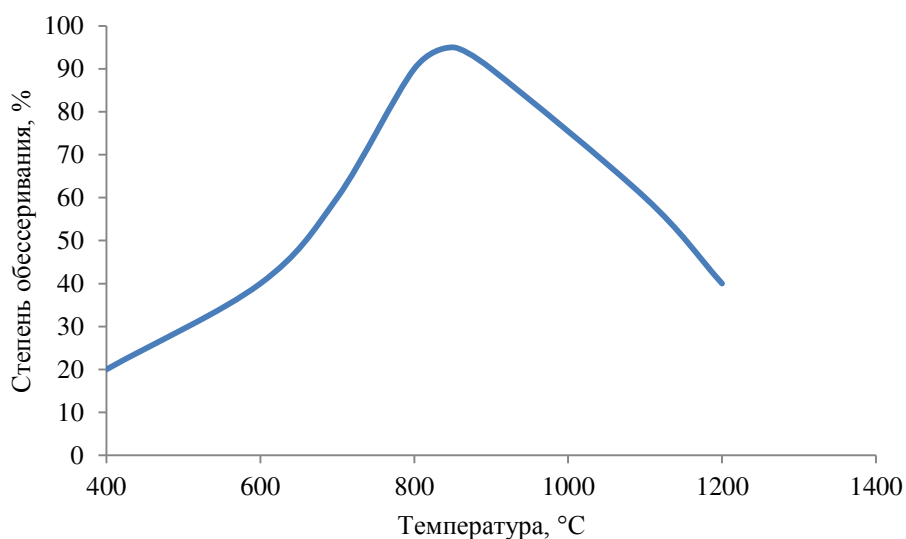


Рис. 1. Степень обессеривания в зависимости от температуры

У гетерогенной реакции между сорбентом и двуокисью серы образование сульфата зависит от времени контакта между сорбентом и  $SO_2$ , находящимися в продуктах сгорания, а также от размера зерен сорбента [2].

Время контакта между сорбентом и продуктами сгорания и активную поверхность известняка можно увеличить путем применения циркулирующего кипящего слоя и мелкомолотого известняка. В этих случаях степень обессеривания может достигать 95% при определенном соотношении  $Ca/S$  [2].

Процесс обессеривания зависит от давления, рис. 2. При повышении давления можно уменьшить количество известняка. Из рис. 2 видно, что при содержании  $O_2$  5% в дымовых газах добавление известняка до соотношения 1:1 позволяет снизить содержание  $SO_2$  с 0,1 до 0,05% [2].

Из результатов опытов по обессериванию угля из Северной Чехии при различном количестве присадки и различной температуре соответственно. Состав угля:  $W^p=23,3\%$ ,  $A^p=33,8$ , выход летучих 22,3%,  $C^p=19,0\%$ ,  $S^p=0,97$ , низшая теплота сгорания 10,8 МДж/кг [2].

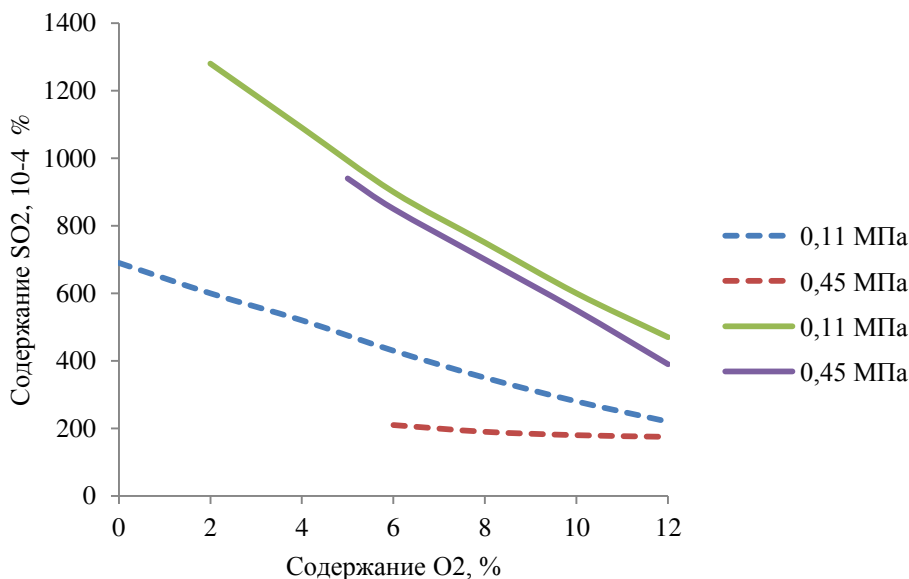


Рис. 2. Концентрация  $SO_2$  в продуктах сгорания в зависимости от давления и избытка воздуха: -  $Ca/S=0$ ; - - - - -  $Ca/S=1$

Из рис. 4 мы видим, что с ростом температуры от 793 до 854 °С степень обессеривания уменьшилась с 98 до 80% [2].

Другим достоинством сжигания угля в псевдоожиженном кипящем слое является значительное снижение образования  $NO_x$  [2].

Образование оксидов азота в кипящем слое может проходить тремя путями:

1. Термические  $NO$ , образующиеся из  $N_2$  и  $O_2$  воздуха (при температуре 850 °С практически не образуются);
2. Быстрые  $NO$  – пренебрежительно малы при сгорании топлива;
3. Топливные  $NO$  возникают из органически связанного азота топлива и кислорода воздуха [2].

Низкая температура слоя способствует снижению образования

термических оксидов азота. При нормальных условиях в псевдоожиженном слое 90% топливного азота превращается в молекулярный азот  $N_2$ . Примерно 10% азота топлива образует  $NO$ , который в уходящих газах, затем в атмосфере медленно превращается в токсичный  $NO_2$  [2].

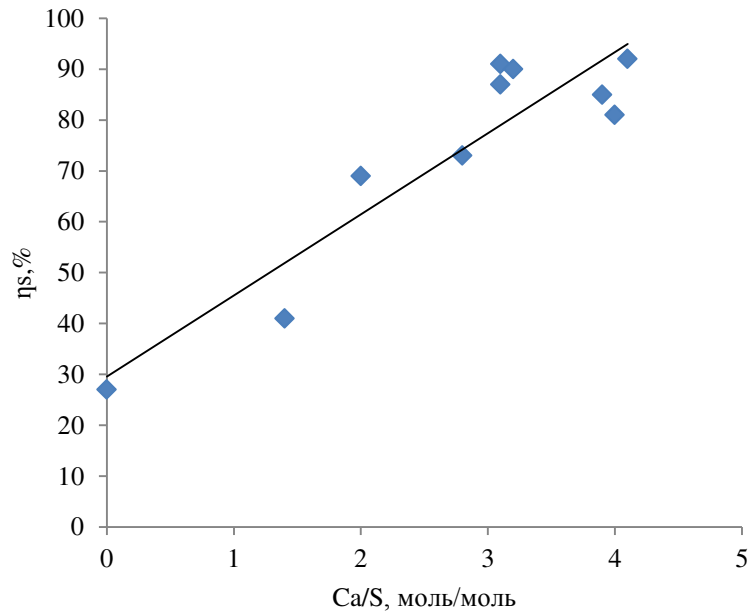


Рис. 3. Степень обессеривания  $\eta_s$  северочешского угля в зависимости от мольного отношения  $Ca/S$

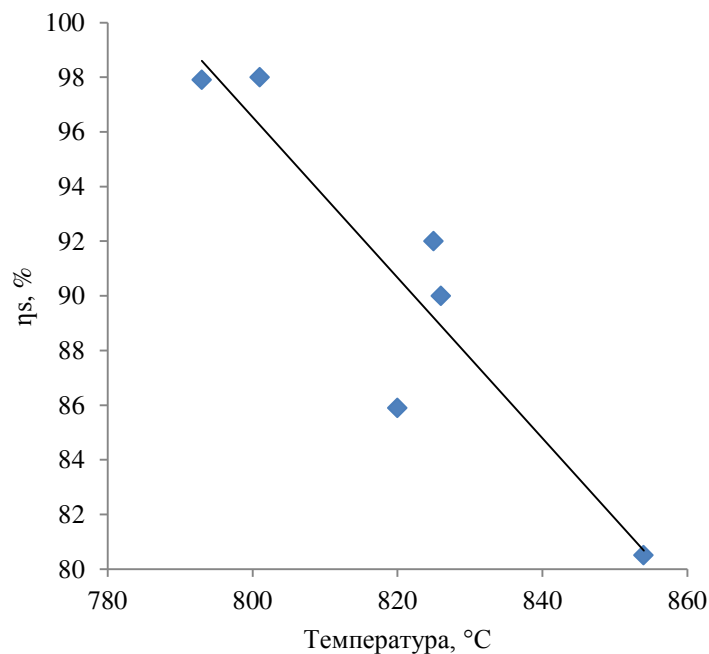


Рис. 4. Степень обессеривания  $\eta_s$  в зависимости от температуры процесса при использовании известняка  $CaCO_3$  и мольном соотношении  $Ca/S=3,44$

Оптимальная температура кипящего слоя с учетом реакций обессеривания и восстановления оксидов азота находится в пределах 840 – 890°С [2].

Котлоагрегаты с псевдоожиженным слоем имеют возможность сжигать угли с высоким содержанием золы и горючие отходы. Проблема стабилизации горения в слое практически отсутствует, вследствие чего допустимое содержание балласта в топливе определяется только тепловым балансом топки. Такие котлоагрегаты могут работать на топливе с высоким процентом балласта до 65 – 70%, в других видах топок это невозможно [3].

Таким образом, котлоагрегаты со сжиганием топлива в топках с псевдоожиженным слоем выглядят наиболее перспективными и имеют следующие преимущества:

1. Высокий коэффициент теплоотдачи;
2. Низкие токсичные выбросы в атмосферу.
3. Возможность сжигать уголь с повышенной зольностью и отходы производства.

#### Список литературы

1. Бородуля, В. А. Сжигание твердого топлива в псевдоожиженном слое / В. А. Бородуля, Л. М. Виноградов // «Наука и техника». – Минск, 1980. – 192 с.
2. Кубин, М. Сжигание твердого топлива в кипящем слое: Пер. с чеш. / М. Кубин // Энергоатомиздат. – М.: 1991. – 144 с.
3. Ведрученко, В. Р. Современные технологии подготовки и сжигания топлива / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, Н. В. Жданов / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. – 191 с.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

##### **Купин Денис Олегович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Магистр кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: deniskupin\_liask@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

##### **Kupin Denis Olegovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
The magistr of the department «Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: deniskupin\_liask@mail.ru

**М. А. Липко, А. П. Стариков**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ ТВЁРДОГО ТОПЛИВА КОТЕЛЬНЫМ**

*В статье рассмотрены технологическая схема погрузки угля до станции, его требования к разгрузке и хранению на складе, технологические схемы обогащения и брикетирования угля и установлены требования к транспортированию брикетов.*

*Ключевые слова: погрузка угля, штабель, склад, хранение угля, переработка, брикетирование, поставка, транспортирование брикетов.*

**Maxim A. Lipko, Alexander P. Starikov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ORGANIZATION OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF SOLID FUEL SUPPLY BOILER SUPPLY**

*The article discusses the technological scheme of loading coal to the station, its requirements for unloading and storage at the warehouse, technological schemes of coal enrichment and briquetting and set requirements for the transportation of briquettes.*

*Key words: coal loading, piling, storage, coal storage, processing, briquetting, delivery, transportation of briquettes.*

Технологическая схема погрузки угля до станции включает три основные группы оборудования: загрузочные устройства; механизмы передвижения контейнеров; весовое устройство, которые показаны на рис. 1.



разгрузке угля на складе и укладке в штабель должны быть приняты меры по уменьшению измельчения, распыления и сегрегации.

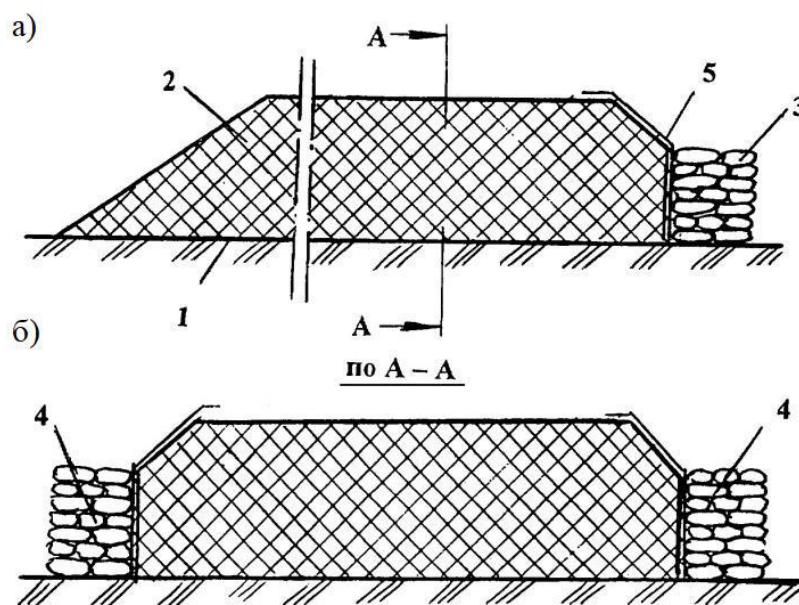


Рис. 2. Способ формирования штабеля угля:

а – продольный разрез штабеля угля; б – поперечный разрез штабеля; 1 – основание штабеля; 2 – уголь; 3 – мешки с углем; 4 – оградительные стенки; 5 – воздухонепроницаемая пленка

Если хранение осуществляется в навесном помещении, то к помещению должны быть применены требования:

- наличие сухого помещения без резких перепадов температуры;
- наличие навеса для защиты от непогоды;
- наличие системы пожарной безопасности;
- наличие средств пожаротушения на складах и прикрепленных к ним помещениях;
- соблюдение работниками всех мер безопасности по работе с горючими элементами (сюда относится запрет на курение вблизи помещений, где хранится ископаемое).

В целях повышения качества поставляемой продукции добываемый уголь проходит переработку, которая показана на рис. 3.

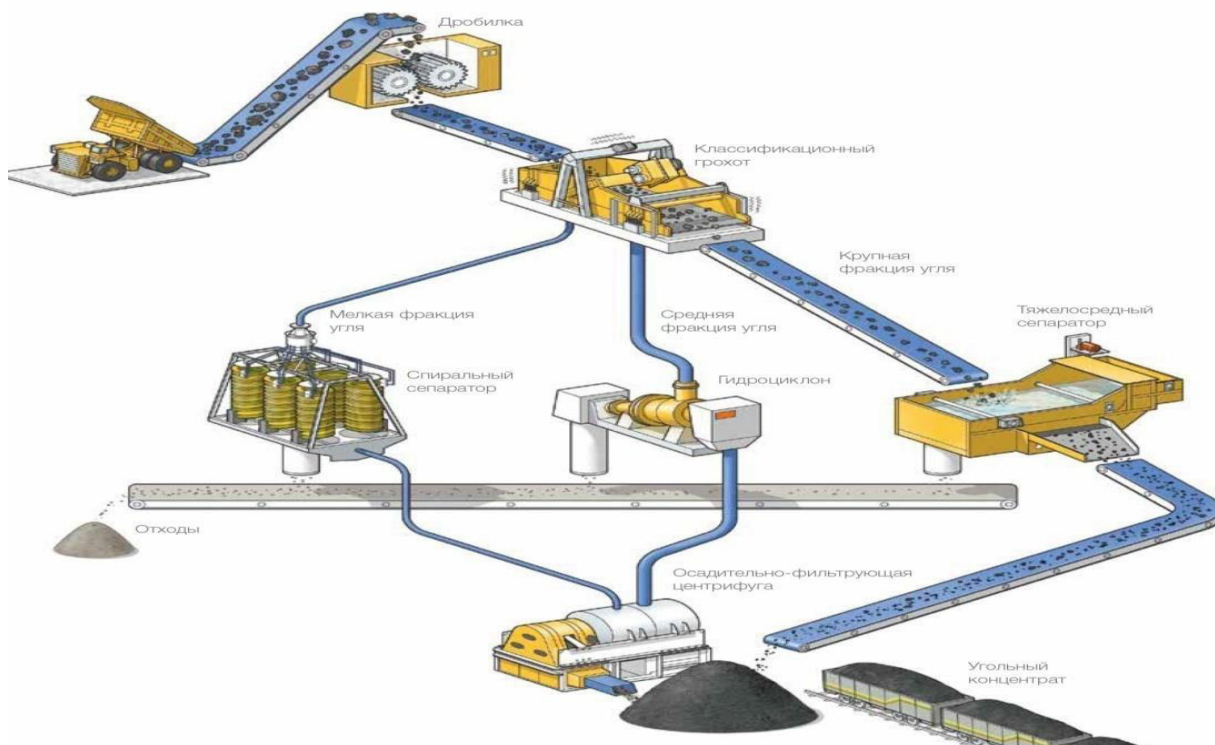


Рис. 3. Технологическая схема переработки угля

**БРИКЕТИРОВАНИЕ УГЛЯ БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО**

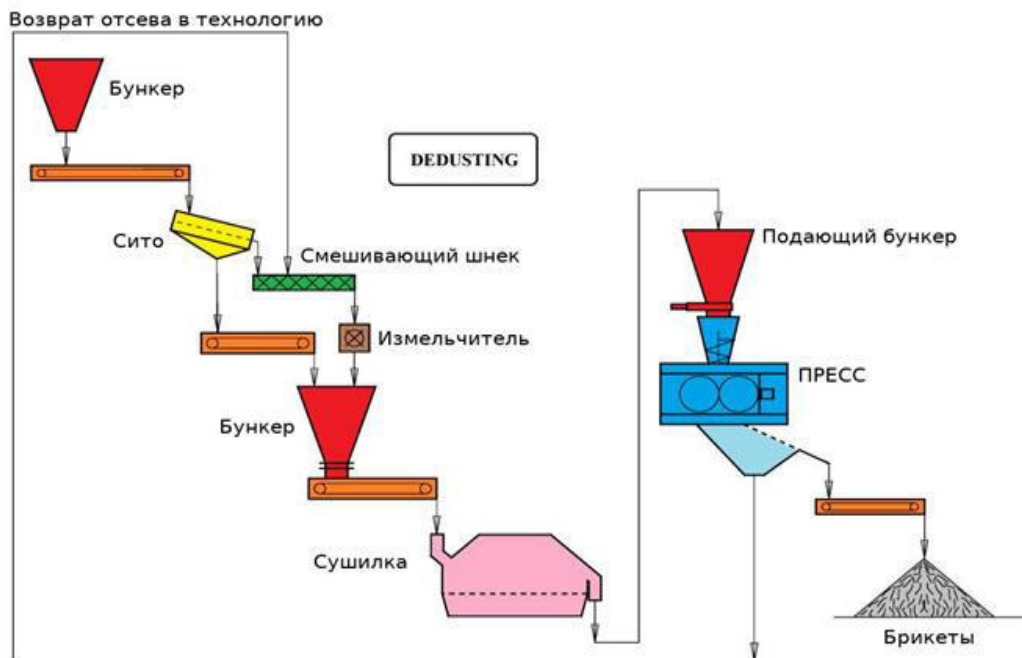


Рис. 4. Технологическая схема изготовления брикетов

Обогащение предназначено для снижения зольности угля и повышения его калорийности. Помимо этого, производится дробление и сортировка угля,

что позволяет поставлять продукцию, полностью отвечающую требованиям потребителей.

После переработки угля, следует его брикетирование (рис. 4). Брикеты предназначены для использования в качестве топлива для частных или промышленных котельных, а также упаковываются для розничной поставки и в этом виде поставляются на экспорт.

Изготовление угольных брикетов для бытового использования состоит из следующих этапов:

- сушка. Чем меньше влаги в сырье, тем прочнее будут брикеты;
- удаление летучих компонентов. Этот этап необходим при переработке угля низких сортов с содержанием большого количества летучих веществ;
- измельчение;
- добавление связующих веществ и перемешивание его с угольной крошкой. Данный состав называют шихтой;
- смесь подается на пресс, где под давлением формируются брикеты;
- в некоторых случаях (зависит от используемого связующего компонента) требуется нагрев в печи до 300 °С;
- охлаждение.

При погрузке готовых брикетов в транспортные средства, должны устанавливаться требования:

1. Транспортирование брикетов производится навалом в открытых железнодорожных вагонах. Высота падения брикетов при погрузке в вагоны не должна превышать 0,5 м.

2. Брикеты перед погрузкой в вагоны следует охладить до температуры не более 45 °С.

3. При разгрузке железнодорожных вагонов высота падения брикета из вагона не должна превышать 2,0 м.

4. Укладка в штабели и погрузка брикетов в транспортные средства потребителя должна производиться погрузочными механизмами. Не допускается использование бульдозеров, шнековых погрузчиков.

При укладке в штабели и погрузке брикетов погрузочные механизмы не должны совершать наезда на брикеты.

## Список литературы

1. Демченко, И. И. Технология погрузки угля в специализированные контейнеры на углепогрузочном комплексе / И. И. Демченко, В. А. Ковалев, А. О. Муленкова. 2014 г.
2. Обогащение угля [Электронный ресурс] / URL: <http://www.suek.ru/our-business/processing/> (дата обращения 13.03.2019 г.).
3. Патент РФ №2161115, В 65 G 65/28, Е 21 F 5/00, 2000 г.
4. Технология брикетирования каменного / бурого угля, кокса [Электронный ресурс] / URL: <http://bioresurs.com/briketirovanie-uglja/pressovanie-ugolnoj-pyli/> (дата обращения 13.03.2019 г.).
5. Брикеты буроугольные. Транспортирование хранение. Гост 24764-81. Государственный комитет СССР по стандартам от 18 мая 1981 г. № 2434.6.
6. Хранение угля – что рекомендуют производители? [Электронный ресурс] / URL: [https://www.krot.su/stati/hranenie\\_uglia\\_chno\\_rekomendyut\\_proizvoditeli/](https://www.krot.su/stati/hranenie_uglia_chno_rekomendyut_proizvoditeli/) (дата обращения 13.03.2019 г.).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### **Липко Максим Анатольевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Студент кафедры «Теплоэнергетика»

ОмГУПС.

тел. +7 913 143 20 79

E-mail: maks.lipko1997@gmail.com

#### **Стариков Александр Петрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Телефон: +7 (3812) 31-06-23

E-mail: StarikovAP@omgups.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

#### **Lipko Maxim Anatolievich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student of the department "Heat power engineering", OSTU.

Tel. +7 913 143 20 79

E-mail: maks.lipko1997@gmail.com

#### **Starikov Alexander Petrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, associate

Professor, head of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-06-23

E-mail: StarikovAP@omgups.ru

**К. А. Гриневицкий, С. В. Глухов**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **ПЕРЕВОД КОТЕЛЬНОЙ В РЕЖИМ МИНИ-ТЭЦ**

*Работа посвящена обзору наиболее популярных способов перевода производственной котельной в режим мини-ТЭЦ. Рассмотрены вопросы актуальности данной тематики. Описаны основные характеристики объекта исследования и предоставлена его принципиальная схема. Представлены основные способы осуществления поставленной задачи.*

*Ключевые слова: котельная, мини-ТЭЦ, комбинированное производство тепла.*

**Kirill A. Grinevitsky, Sergey V. Glukhov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **TRANSFER OF THE BOILER HOUSE TO THE MODE OF MINI-COMBINED HEAT AND POWER PLANT**

*Work is devoted to the review of the most popular ways of the transfer of the production boiler house to the mode of mini-combined heat and power plant. Relevance questions to this subject are considered. The main characteristics of an object of a research are described and its schematic diagram is provided. The main ways of implementation of an objective are presented.*

*Key words: the boiler house, mini-combined heat and power plant, the combined production of heat.*

Актуальность темы рассматриваемой работы определяется назревшей необходимостью исследования альтернативных путей развития российской энергетики, вследствие следующих факторов:

- 1) Возрастания тарифов на энергию, отпускаемую энергоснабжающими организациями;
- 2) Высоких потерь энергии и топлива при имеющейся структуре энергопроизводства;
- 3) Ужесточения требований к охране окружающей среды и стремления

предприятий к утилизации горючих производственных отходов в газообразном, жидком и твёрдом состоянии.

В таких условиях развитие малой энергетики с комбинированным производством тепла и электроэнергии, в том числе на базе существующих отопительных и промышленно-отопительных котельных, может стать альтернативой централизации энергообеспечения либо дополнением, повышающим эффективность схем энергообеспечения.

Кировская районная котельная была введена в эксплуатацию в октябре 1972 года для теплоснабжения левобережья Омска.

Установленная мощность котельной составляет 585 Гкал/час, которая обеспечивается шестью паровыми котлами типа ГМ-50-14/250 производительностью 50 т/час (30 Гкал/час) каждый, тремя водогрейными котлами типа ПТВМ-30М, производительностью 35 Гкал/час каждый и тремя водогрейными котлами КВГМ-100 по 100 Гкал/час.

Суммарная паропроизводительность котлов составляет 300 т/ч и установленная мощность водогрейных котлов на газовом топливе составляет 300 Гкал/ч. т.е. можно проводить реконструкцию котельной как с внедрением противодавленческих турбин, так и газовых.

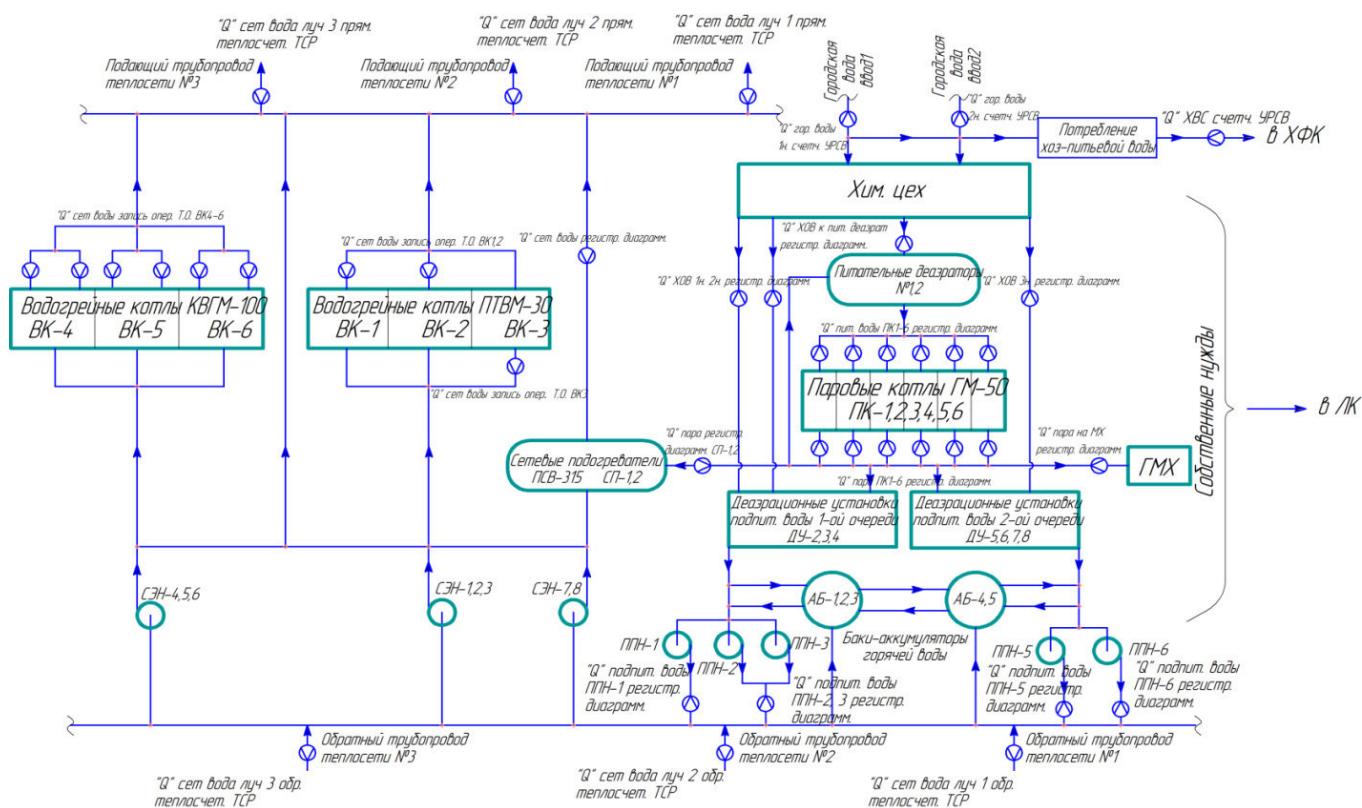


Рис. 1. Принципиальная схема КРК

## Основные типы мини-ТЭЦ

1) Паротурбинная с противодействующей турбиной с тепловым отпуском потребителям всего или части отработавшего в ней пара представлена на рисунке 2.

2) Паротурбинная с конденсационной турбиной, имеющая теплофикационный отбор или отборы для отпуска пара тепловым потребителям представлена на рисунке 3.

3) Парогазовая с использованием тепла выхлопных газов для производства пара, который полностью или частично направляется в одну или несколько паровых турбин представлена на рисунке 4.

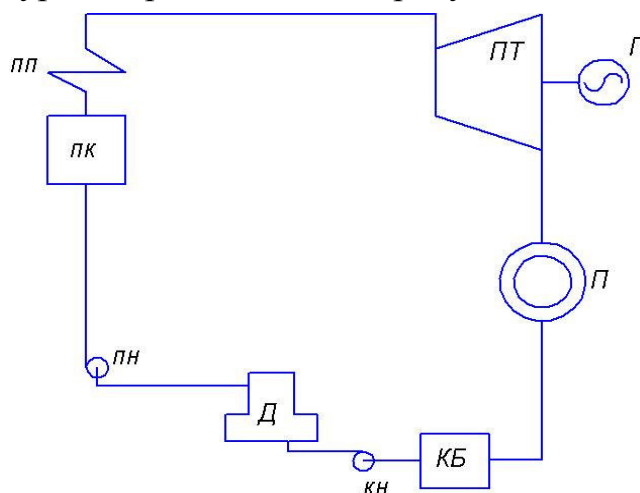


Рис. 2. Паротурбинная ТЭЦ с противодействующей турбиной

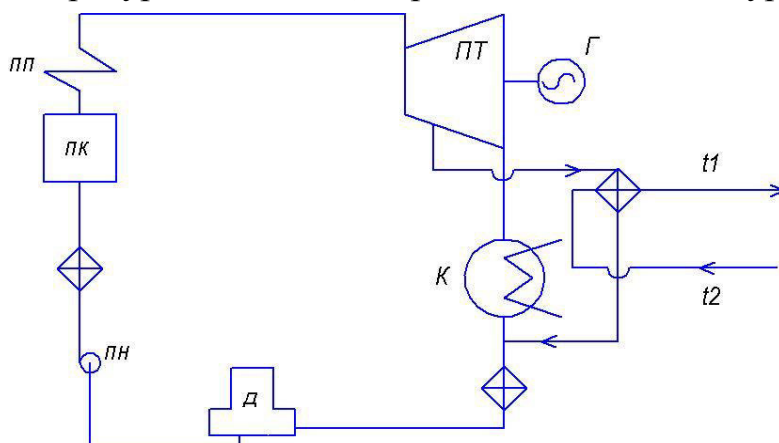


Рис. 3. Паротурбинная ТЭЦ с конденсационной турбиной

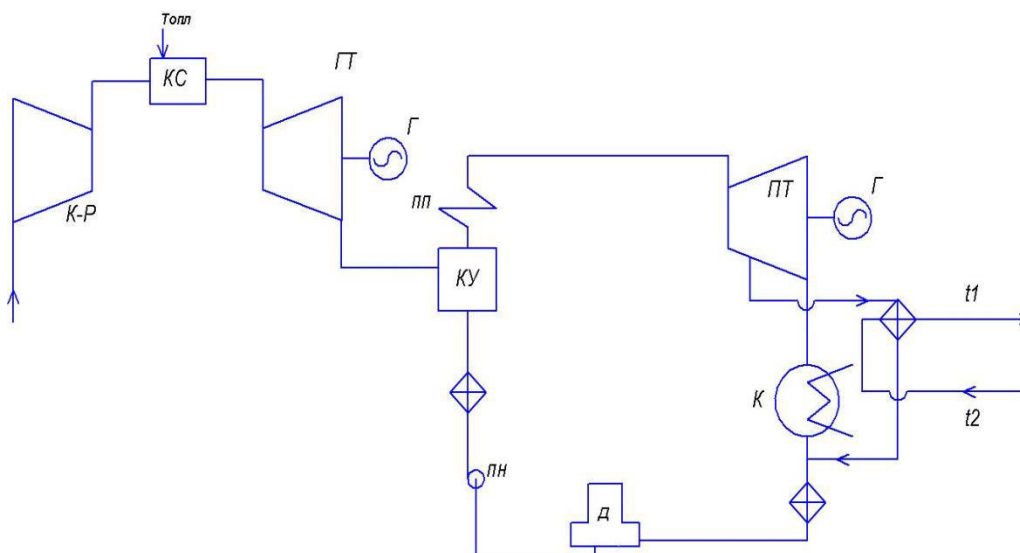


Рис. 4. Парогазовая с использованием тепла выхлопных газов

Достоинствами мини-ТЭЦ являются:

- 1) Невысокая стоимость вырабатываемой электроэнергии и тепла;
- 2) Коэффициент полезного действия мини-ТЭЦ достигает 88-92 %, что в два раза больше того же показателя традиционных ТЭЦ на паровых турбоагрегатах;
- 3) Многотопливность: возможность использовать в качестве топлива отходы, попутных газов при нефтедобыче, отходы древесины при проведении санитарных вырубок;
- 4) Гибкость в конструкции, использовании и исполнении, широкий выбор технологических схем для получения электроэнергии, тепла в виде пара/горячей воды или холода (вода с температурой 6-12 °С) для систем кондиционирования;
- 5) Возможность максимально приблизить производство энергии к потребителям, а следовательно, уменьшить протяженность сетей, понизить затраты на их постройку и содержание;
- 6) Быстрая окупаемость;
- 7) Невысокий расход топлива, большой моторесурс и срок службы;
- 8) Экологичность.

Исходя из выше сказанного перевод Кировской районной котельной в комбинированный режим выработки тепловой и электрической энергии позволит повысить надежность электроснабжения потребителей г. Омска и энергоэффективность работы.

## Список литературы

1. Бузников, Е. Ф. Производственные и отопительные котельные / Е. Ф. Бузников, К. Ф. Роддатис, Э. Я. Берзиньш. – М.: Энергияю. – 1974.
2. Внуков, А. К. Резервы энергосбережения районных котельных / А. К. Внуков // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 3.
3. Богданов, А. В. Котельнизация России – беда национального масштаба / А. В. Богданов // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 10 – 12; 2007. – № 4, 5, 7.
4. Шкода, Н. И. Теплофикация против децентрализации / Н. И. Шкода // Энергия и Менеджмент. – 2007. – № 4.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Гриневицкий Кирилл Александрович**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Студент кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.

**Глухов Сергей Витальевич**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: svgluk@mail.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Grinevitsky Kirill Aleksandrovich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Student of the department "Heat power  
engineering", OSTU.

**Glukhov Sergey Vitalyevich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Associate  
professor of «Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: svgluk@mail.ru

УДК 621.577

**Р. В. Сараев, С. В. Глухов**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ЦЕЛИ ОТОПЛЕНИЯ

*В статье рассмотрены проблемы котельной, схема котельной и схема теплового насоса внедряемого на данный объект. Рассмотрены основные виды тепловых насосов.*

*Ключевые слова: проблемы котельной, схема котельной, схема теплового насоса, виды тепловых насосов.*

**Roman V. Saraev, Sergey V. Glukhov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ORGANIZATION OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF SOLID FUEL SUPPLY BOILER SUPPLY**

*The article discusses the problems of the boiler room, the boiler room scheme and the heat pump scheme being implemented on this object. The main types of heat pumps are considered.*

*Key words: boiler room problems, boiler room scheme, heat pump scheme, types of heat pumps.*

Объектом моего исследования является производственная база по ул. Молодова в г. Омске

Источником теплоснабжения являются две встроенных котельных с газовыми котлами Ferroli GN1 N05 установленной мощностью 190 кВт, при подключенной нагрузке 230 кВт, в связи с этим на данной базе имеется дефицит мощности.

Было принято решение убрать газовые котлы в резерв для использования их только в пиковые нагрузки при температуре наружного воздуха ниже минус 20 °С, а на их место установить газовые абсорбционные тепловые насосы ROBUR GAHP-GS с использованием геотермальной возобновляемой энергии для использования их в качестве базового источника энергии.



Рис. 1. План расположения зданий производственной базы по ул. Молодова:  
1 – АБК; 2 – сторожка; 3 – цех № 1; 4 – Склад № 1; 5 – Цех № 2; 6 – Склад № 2.

После ввода в эксплуатацию склада №2 присоединенная тепловая нагрузка котельных возросла до 267 кВт (оценочно), что превышает их установленную мощность.

Таблица 1

Расчетные тепловые нагрузки потребителей

| Наименование здания | Расчетная температура воздуха, °С | Расход тепла, Вт/(ккал/ч) |            |     |        |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------|-----|--------|
|                     |                                   | Отопление                 | Вентиляция | ГВС | Общий  |
| Цех №1              | -37                               | 27936                     | -          | -   | 27936  |
| Склад               | -37                               | 58160                     | -          | -   | 58160  |
| Цех №2              | -37                               | 41243                     | -          | -   | 41243  |
| Сторожка            | -37                               | 3200                      | -          | -   | 3200   |
| АБК                 | -37                               | 95565                     | 40426      | 0   | 135991 |
| Всего               | -37                               |                           |            |     | 266530 |

Схема котельной рассматриваемого объекта

Данная схема увязана в одну гидравлическую сеть с общими сетевыми насосами и помимо недостатка мощности – разрегулирована.

Отсутствуют балансирующие клапана на обратных трубопроводах в котельной цеха №1 и АБК

Присоединение системы отопления склада №1 осуществляется не от гребенки котельной №1, а от системы отопления Цеха №1 без использования регулирующей арматуры

Регулятор температуры установленный в котельной цеха №1 находится в неработоспособном состоянии, фактически котельная регулируется регуляторами установленными на котлоагрегатах.

Основные виды тепловых насосов

На данный момент основными видами тепловых насосов являются:

Абсорбционный

Парокомпрессионный

Газовые абсорбционные тепловые насосы ROBUR GANP-GS работают на природном газе. Они незначительно потребляют электроэнергию и обладают высокой надежностью.

В данном тепловом насосе: в роли хладагента – используется водно-аммиачный раствор; в роли абсорбента – используется вода.

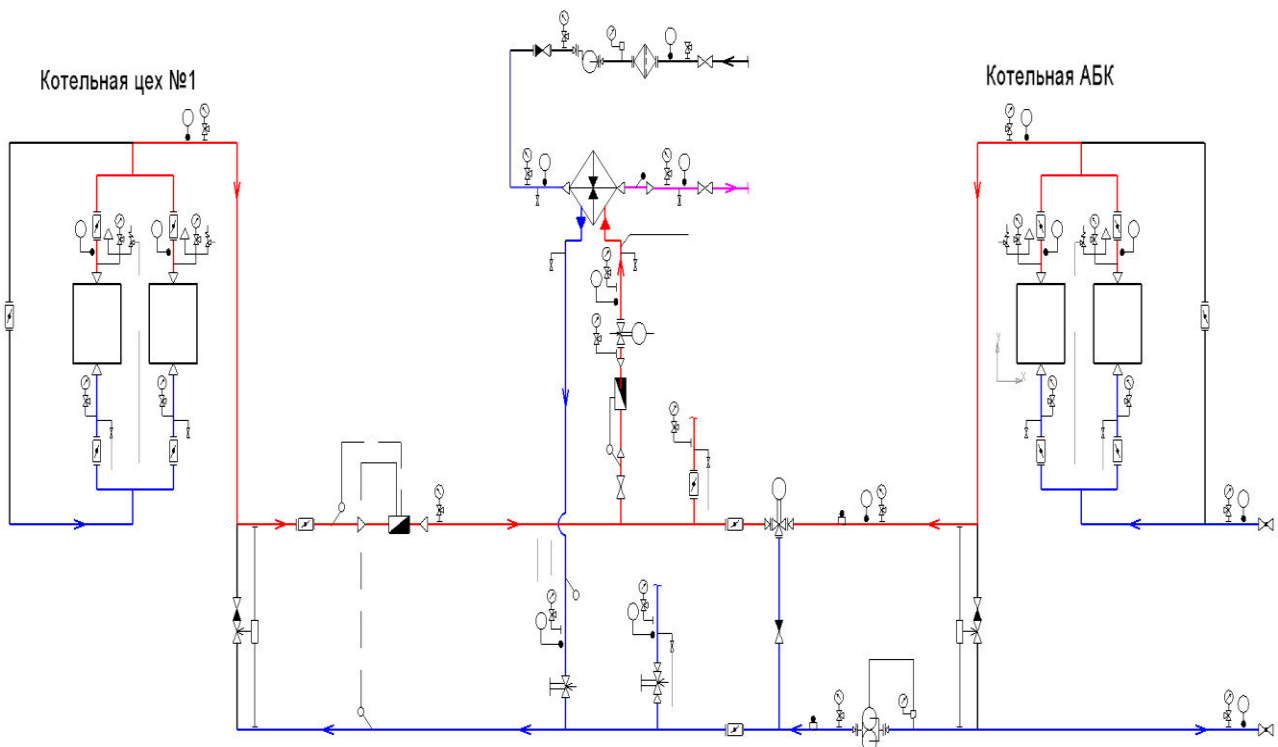


Рис. 2. Схема котельной

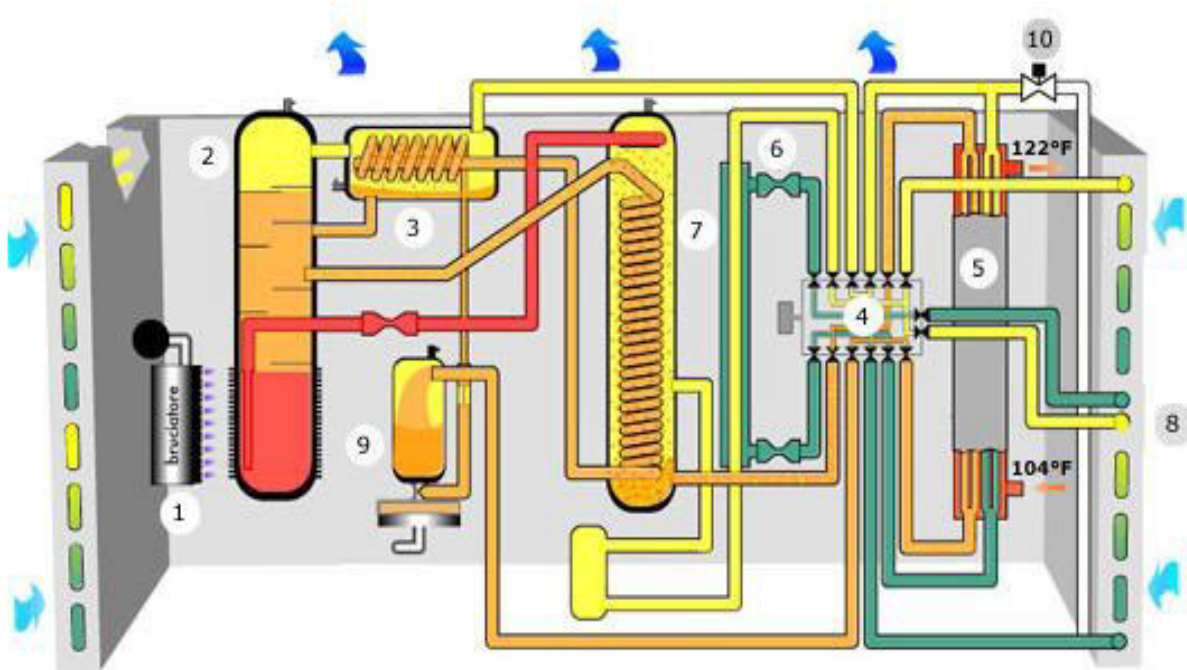


Рис. 3. Схема работы теплового насоса ROBUR GHP-GS

1 – Горелка. Сжигание природного газа запускает «химический двигатель» цикла абсорбции.

2 – Генератор. Благодаря тепловому вводу горелки, аммиак испаряется и отделяется от воды.

3 – Выравнивающая камера. Тут пары аммиака высушиваются.

Конденсатная вода возвращается в генератор.

4 – Реверсивный клапан. Чтобы изменить цикл из режима нагрева в режим охлаждения и наоборот.

5 – Аммиачно-водяной теплообменник. Здесь энергия нагрева или охлаждения передается воде в гидравлическом контуре.

6 – Теплообменник труба в трубе. Используется для повышения эффективности цикла благодаря внутреннему обмену энергией между горячим жидким аммиаком (из конденсатора) и холодным паром аммиака (из испарителя).

7 – Предварительный поглотитель. Здесь начинается процесс поглощения. Пары аммиака, поступающие из испарителя, поглощаются водой, поступающей из генератора. Энергия, полученная в процессе абсорбции, предварительно нагревает раствор, который возвращается в генератор, и резко повышает эффективность системы.

8 – Ребристая катушка. Воздушный теплообменник. Конденсатор в режиме охлаждения, испаритель в режиме обогрева.

9 – Насос для раствора. Водно-аммиачный раствор закачивается обратно в генератор.

10 – Размораживающий клапан. Требуется в холодное время года, горячий пар аммиака направляется в ребристую катушку, чтобы растопить слой льда. [3,4].

Достоинства АТН:

- a) Нагрев среды до отметки в +60 / +80 °С;
- b) Большой срок службы, в особенности, если сравнивать с устройствами парокompрессионного типа;
- c) В качестве источника энергии используется кипяток, пар, некоторые виды газов;
- d) Не используются аммиак и фреоны;
- e) Надежность.

Недостатки АТН:

- a) Высокая стоимость;
- b) Потребность в доступном низкотемпературном тепле;
- c) Большой срок окупаемости при нерегулярном использовании.

## Технические характеристики АТН ROBUR GAHP-GS

|   |   |      | GAHP GS LT | GAHP GS HT |
|---|---|------|------------|------------|
| УСЛОВИЯ РАБОТЫ BOW50* (Температура раствора на входе 0°C, температура горячей воды на выходе +65°C) | G.U.E. коэффициент использования газа                 | %    | –          | 125 (1)    |
|   | Отдаваемая тепловая мощность                          | кВт  | –          | 31,5 (1)   |
|   | Мощность от низкотемпературного источника тепла (НИТ) | кВт  | –          | 7,9        |
| Теплопроизводительность   | Номинальная (1013 мбар - 15°C)                        | кВт  | 25,7       |            |
|   | фактическая максимальная                              | кВт  | 25,2       |            |
| Класс по выбросу NOx  |   |      | 5          |            |
| Количество выбросов NOx   |   | ppm  | 25         |            |
| Выбросы CO  |   | ppm  | 36         |            |
| Температура воды в подающем контуре системы отопления   | макс. при работе в режиме отопления                   | °C   | 55         | 65         |
|   | макс. при работе в режиме ГВС                         | °C   | 70         |            |
| Температура воды в возвратном контуре системы отопления   | макс. при работе в режиме отопления                   | °C   | 45         | 55         |
|   | макс. при работе в режиме ГВС                         | °C   | 60         |            |
|   | минимал. в непрерывном режиме**                       | °C   | 20         | 30         |
| Расход воды в режиме отопления  | номинальная   | л/ч  | 3250       | 3170       |
|   | максимальный  | л/ч  | 4000       |            |
|   | минимальный   | л/ч  | 1400       |            |
| Потери напора воды  | при номинальном расходе (BOW50)                       | бар  | 0,49 (2)   |            |
| Температура окружающего воздуха (по сухому термометру)  | максимальный  | °C   | 45         |            |
|   | минимальный   | °C   | 0          |            |
| Перепад температуры   | номинальная   | °C   | 10         |            |
|   | метан G20 (номинальный)                               | м3/ч | 2,72 (3)   |            |
| Расход газа   | G30 (номинальный)                                     | кг/ч | 2,03 (4)   |            |
|   | G31 (номинальный)                                     | кг/ч | 2,00 (4)   |            |

## 1. Принцип работы ПТН

Парокомпрессионный тепловой насос – насос, в котором хладагентом является аммиак или фреон, а абсорбент, в отличие от абсорбционного теплового насоса, отсутствует.

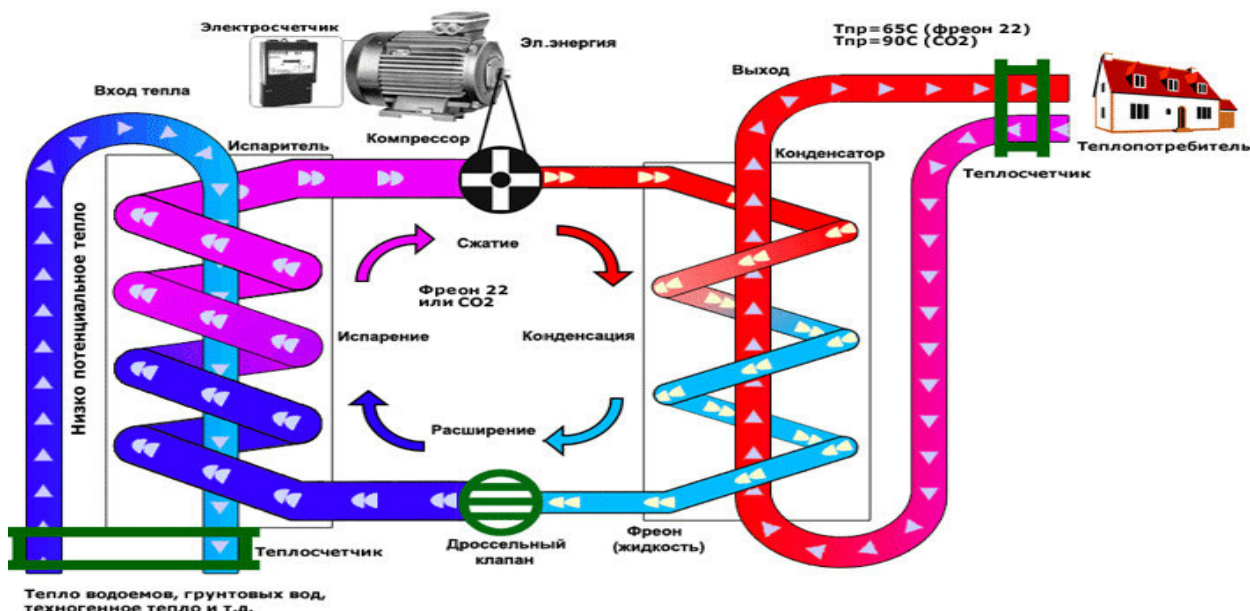


Рис. 4. Схема работы ПТН

В испарителе хладагент переходит из жидкого состояния в газообразное (испаряется) далее этот хладагент сжимается в компрессоре, где повышается его давление и температура, и подается в конденсатор, где он отдает своё тепло и конденсируется переходя из газообразного состояния в жидкое.

Далее хладагент проходит через дроссельный клапан, где понижаются его давление и температура, далее цикл повторяется по кругу.[5]

## 2. Достоинства и недостатки ПТН

Достоинства:

- a) Экологичность;
- b) Отсутствуют затраты на топливо;
- c) Простота схемы управления;
- d) Отсутствие шума.

Недостатки:

- a) Низкая температура нагрева теплоносителя;
- b) Трудность и большая стоимость монтажа;
- c) С повышением мощности падает эффективность;
- d) Срок окупаемости до 10 лет.

## 3. Предлагаемое техническое решение

Перевод котельных агрегатов в пиковый режим с установкой абсорбционных тепловых насосов, имеющих в качестве первичного источника тепла – грунт.

1) Используя 39,4% геотермальной возобновляемой энергии, обеспечивает общий КПД использования газа более 165%.

2) Обеспечивает экономию более 50% на затратах на геотермальные зонды в сравнении с электрическими тепловыми насосами.

3) Обеспечивает экономию до 40% на затратах на отопление в сравнении с лучшими конденсационными котлами.

4) Повышает стоимость здания, так как повышается энергетический класс.

5) Снижает до минимума потребность в электроэнергии, в сравнении с традиционными электрическими аппаратами, благодаря использованию, в основном, метана.

6) Экологичный. В сравнении с системой с котлом, каждый год позволяет экономить 2,2 эквивалентных тонны нефти и предупреждает выброс 4,6 тонн

CO<sub>2</sub>, соответствующих объему, поглощаемому 508 деревьями или выбросам 2 экологических автомобилей

#### Список литературы

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок в Российской Федерации, 2003.
2. СП 124.13330.2012 Тепловые сети, 2012.
3. Inside the Thermodynamic ROBUR Cycle [Электронный ресурс] / URL: [https://www.roburcorp.com/technical\\_dossiers/heat\\_pumps\\_absorption\\_technology/inside\\_the\\_thermodynamic\\_cycle](https://www.roburcorp.com/technical_dossiers/heat_pumps_absorption_technology/inside_the_thermodynamic_cycle) (дата обращения 13.03.2019 г.).
4. Руководство по установке, эксплуатации и техническому обслуживанию ROBUR ГАHP-GS/WS [Электронный ресурс] / URL: [http://www.robur-gaz.ru/wp-content/uploads/2016/04/D-LBR711\\_A\\_14MEDSDC005\\_GAHP-GS\\_WS\\_RU.pdf](http://www.robur-gaz.ru/wp-content/uploads/2016/04/D-LBR711_A_14MEDSDC005_GAHP-GS_WS_RU.pdf) (дата обращения 14.03.2019 г.).
5. Устройство и принцип работы теплового насоса [Электронный ресурс] / URL: <http://www.termocool.ru/products/ustrojstvo-i-printsip-raboty-teplovogo-nasosa> (дата обращения 14.03.2019 г.).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

##### **Сараев Роман Валерьевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Студент кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
rogue\_1996@mail.ru

##### **Глухов Сергей Витальевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: svgluk@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

##### **Saraev Roman Valerievich**

Omsk State Transport University (OSRU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Student, the department of "Heat power  
engineering" OSRU.  
rogue\_1996@mail.ru

##### **Glukhov Sergey Vitalyevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation  
Ph. D. in Technical Sciences, Associate  
professor of «Heat power engineering» OSRU.  
E-mail: svgluk@mail.ru

**И. С. Сумина, О. В. Верховская**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ И УЧЁТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

*В статье рассмотрен процесс утилизации энергетических потерь с возможностью применения установки систем автоматического регулирования процессов горения на котлах электростанций, уплотнение окон и дверей при ремонте зданий, использование окон с тройным остеклением, и т.д. Интенсивное энергосбережение подразумевает полную реконструкцию оборудования и введение новых принципов его работы, существенно сокращающих потребление энергии.*

*Ключевые слова: энергосбережение, критерии эффективности.*

**Irina S. Sumin, Olga V. Verkhovskaya**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF CONSUMPTION AND METERING OF ENERGY RESOURCES AT THE ENTERPRISE**

*In article process of utilization of power losses with a possibility of application of installation of systems of automatic control of processes of burning on coppers of power plants, consolidation of windows and doors at repair of buildings, use of windows with threefold glazing, etc. is considered. Intensive energy saving means full reconstruction of the equipment and introduction of the new principles of its work significantly reducing energy consumption.*

*Key words: energy saving, criteria of efficiency.*

В настоящее время полезное применение энергии, в первую очередь, связывают с энергосбережением. Есть официальное определение понятия – энергосбережение - комплекс мер по реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное(рациональное) использование (и экономное расходование) топлива – энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот

возобновляемых источников энергии. Можно выделить три основные направления энергосбережения:

- полезное использование (утилизация) энергетических потерь,
- модернизация оборудования с целью уменьшения потерь энергии,
- интенсивное энергосбережение.

Примером утилизации энергетических потерь может служить установка систем автоматического регулирования процессов горения на котлах электростанций, уплотнение окон и дверей при ремонте зданий, использование окон с тройным остеклением, и т.д. Интенсивное энергосбережение подразумевает полную реконструкцию оборудования и введение новых принципов его работы, существенно сокращающих потребление энергии. Примером может служить замена двигателей внутреннего сгорания в автомобилях на электродвигатели с питанием от солнечных элементов (электромобили).

Целью нашей работы является исследование показателей эффективности использования энергии – установка ориентиров, к которым нужно стремиться, выявление слабых мест в расходовании энергии, определение резервов.

Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

1. оценить направления энергосбережения;
2. изучить критерии эффективности использования; ТЭР
3. определение и исследование показателя энергоэффективности;
4. определение индикаторов реализации энергосбережения.

Два закона энергосбережения.

Энергосбережение в соответствии с первым законом термодинамики: Не растрчивать энергию впустую! Энергосбережение в соответствии с первым законом означает, что мы начинаем тратить за то же самое время меньше энергии, чем раньше, так как используем энергию более рационально. Приведем примеры энергосбережения, которые соответствуют первому закону и которые можно внедрять на предприятии:

– Используйте экономичные электролампочки (лампы дневного света вместо ламп накаливания).

– Выключайте осветительные и нагревательные устройства, когда уходите из комнаты.

– Используйте тепловые отходы промышленных предприятий электростанций для обогрева жилых помещений.

Энергосбережение в соответствии со вторым законом термодинамики: Не теряй качество энергии! Энергосбережение в соответствии со вторым законом термодинамики заставляет задуматься над вопросом: энергию какого качества использовать для выполнения той или иной задачи? В будущем интерес к качеству энергии будет только возрастать.

Приведем примеры энергосбережения в соответствии со вторым законом:

- использование биоэнергии и тепловой энергии для обогрева вместо электроэнергии;

- использование тепловых отходов для обогрева зданий;

- использование солнечной энергии для обогрева зданий.

Как видите, при некоторых способах энергосбережения (использования тепловых отходов для обогрева) действуют оба закона.

Основные критерии эффективности использования ТЭР. Их виды и краткая характеристика.

Для того, чтобы охарактеризовать процесс производства, передачи или потребления энергии, оценить потенциал энергосбережения на различных объектах (установка, цех, предприятие, жилой район, регион, государство), обосновать правильность выбора энергосберегающих мероприятий применяются критерии энергетической эффективности. Вспомним, что означает понятие «критерий». Критерий – это некоторая, достаточно общая характеристика процесса, которую можно выразить в численной форме. Критерий должен обладать универсальностью. Когда мы имеем дело с энергией, мы должны рассматривать различные физические процессы – ее выработку, преобразование, хранение, передачу на различные расстояния и наконец, потребление. Применяемые на практике виды энергии – тепловая, электрическая, механическая – отличаются по своим свойствам. Физические процессы производства и потребления энергии также очень многообразны: это сжигание топлива, плавление, термическая обработка металлов, различные способы обогрева зданий, выпаривание, сушка, перегонка, ректификация и многие другие. Очевидно, что для описания всего этого многообразия процессов придется использовать не один, а много различных критериев. Отметим, что если рассматривать деятельность человека в целом, то наибольшие нерациональные потери энергии наблюдаются при ее потреблении. При выработке и транспортировке потери энергии меньше. Именно потребление энергии, в промышленности, сельском хозяйстве, в быту и в

общественной деятельности представляет главный резерв энергосбережения. Из этого следует, что наибольший интерес представляют критерии энергетической эффективности, связанные с потреблением энергоресурсов.

Определение показателя энергоэффективности дано в Федеральном Законе «Об энергосбережении».

Показатель энергоэффективности – абсолютная или удельная величина потребления или потери энергетических ресурсов любого назначения, установленная государственными стандартами.

Немаловажным является оценка теоретически необходимого количества энергетических ресурсов для проведения того или иного процесса. Если оценивать предприятие, которое осуществляет какой-либо технологический процесс, то теоретически необходимые затраты тепловой энергии для получения механической энергии можно определить через термический КПД цикла Карно. Затраты тепла на нагрев детали перед термической обработкой вычисляются как произведение разности начальной и конечной температур на теплоемкость и массу материала детали. Затраты на плавление металла – как произведение удельной теплоты плавления на его массу и т.д. Однако использовать этот ориентир на практике не всегда представляется возможным поскольку теоретические затраты энергии по разным причинам бывает трудно определить. Тем не менее, поскольку теоретические затраты тепла на испарение влаги близки теоретическим затратам тепла на сушку их часто используют для характеристики эффективности процесса. Критерий часто не полностью отражает эффективность процесса использования энергии, а лишь дает информацию для его анализа.

Термодинамические критерии эффективности использования энергии.

В качестве такого критерия можно использовать:

1. Термический КПД циклов тепловых двигателей (циклы паротурбинных, газотурбинных, парогазовых установок, двигателей внутреннего сгорания) и холодильных машин.

2. Натуральные критерии оценки эффективности использования энергии на промышленных предприятиях.

3. Удельный и совокупный удельный приведенный расход условного топлива.

4. Индикаторы (частные критерии) эффективности использования энергии на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

5. Экономические критерии оценки эффективности использования энергии.

Формы используемых критериев эффективности использования энергии на промышленных предприятиях очень многообразны. Часто это определяется видом получаемой продукции, ее номенклатурой, степенью использования собственных и внешних источников энергии, потребления вторичных энергетических ресурсов, выделения внутреннего тепла в технологических процессах (например, теплоты экзотермических реакций) и т.д.

Следует иметь в виду, что процесс с наилучшими энергетическими характеристиками не всегда является выгодным экономически. Наиболее распространенным из них является срок окупаемости энергосберегающего мероприятия.

В расчете срока окупаемости учитываются капитальные затраты – стоимость используемых материалов и оборудования, проектных работ, монтажа, пуска в эксплуатацию и эксплуатационные затраты: например, затраты на обслуживание установленного энергосберегающего оборудования, его ремонта, расходных материалов, топлива и энергии на его работу и т.д. Через определенное время стоимость экономии энергетических ресурсов станет равна стоимости капитальных и эксплуатационных затрат. Тогда говорят, что достигнут срок окупаемости.

При расчете капитальных и эксплуатационных затрат необходим учет инфляции, а также изменения стоимости энергетических ресурсов (а также стоимости обслуживания) за время эксплуатации. Поскольку уровень инфляции и будущую стоимость энергетических ресурсов не всегда можно предсказать заранее, на практике используются прогнозы развития ситуации – например, пессимистичный, реалистичный, оптимистичный, каждому из которых соответствуют свои значения тарифов. Далее срок окупаемости рассчитывается по каждому из этих прогнозов.

Современная приведенная стоимость (net present value) – другой не менее важный экономический критерий. Он представляет собой разность полученной экономии и суммарных затрат на проведение того или иного энергосберегающего мероприятия на рассматриваемый момент времени. При этом стоимость затрат и экономии берутся в дисконтированном виде, то есть с учетом инфляции. До наступления срока окупаемости чистая приведенная стоимость отрицательна, после – положительна. В отличие от срока

окупаемости современная приведенная стоимость зависит от момента времени в который мы ее рассматриваем и может быть представлена в виде табличной или графической зависимости. Характер этой зависимости зависит от уровня инфляции и от будущей цены на энергоресурсы, поэтому для ее построения используются прогнозы развития ситуации на рынке энергоресурсов. Как срок окупаемости, так и современная приведенная стоимость обычно зависят от большого количества технических, стоимостных и других показателей, в частности от режима работы установки, ее конструкционных параметров. Экономические критерии могут быть оптимизированы за счет подбора оптимальных значений режимных и конструкционных параметров процесса с использованием соответствующих математических методов. При этом можно получить значительный экономический эффект.

Индикаторы реализации энергосбережения.

В настоящее время имеется несколько десятков государственных стандартов на промышленное оборудование, машины, приборы, которые с полным основанием можно отнести к стандартам энергетической эффективности, поскольку основное их назначение в регламентации показателей энергопотребления (энергоэффективности) этого оборудования. Разработан ряд нормативных и методических документов по энергетическим обследованиям и энергопаспортизации, в которых нашли отражение показатели энергетической эффективности технологических процессов. В государственной и отраслевой статистике имеется более десятка форм, в которых отражены показатели энергопотребления и эффективности энергоиспользования на предприятиях, в отраслях, регионах, на макроуровне экономики.

Таким образом, можно выделить три основные группы показателей (индикаторов) реализации энергосбережения:

- нормируемые показатели энергетической эффективности продукции, которые вносятся в государственные стандарты, технические паспорта продукции, техническую и конструкторскую документацию и используются при сертификации продукции, энергетической экспертизе и энергетических обследованиях;

- показатели энергетической эффективности производственных процессов, которые вносятся в стандарты и энергопаспорта предприятий и используются в ходе осуществления государственного надзора за эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов и проведении

энергообследований органами государственного надзора;

– показатели (индикаторы) реализации энергосбережения (отражаются в статотчетности, нормативных правовых и программно-методических документах, контролируются структурами государственного управления и надзора).

Целью настоящего стандарта является формирование единого терминологического толкования и унифицированных методических подходов к представлению показателей энергосбережения и энергетической эффективности при разработке нормативных (технических, правовых) и методических документов в области энергосбережения в соответствии с требованиями Закона Российской Федерации «Об энергосбережении».

Таким образом, энергетические ресурсы являются наиболее активной частью материально-технической базы любого предприятия. Они активно используются при производстве продукции любого вида и являются одним из жизненно необходимых элементов.

#### Список литературы

1. Макушин, Н. И. Организация производства / Н. И. Макушин – М.: Мысль, 2004. – 321 с.
2. Памбухчиянц, О. В. Организация и технология коммерческой деятельности: Учебник для студентов / О. В. Памбухчиянц – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 2004. – 450 с.
3. Раицкий, К. А. Экономика предприятия: Учебник для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Дашков и К», 2005. – 1012 с.
4. Русак, В. А. Финансовый анализ субъектов хозяйствования / В. А. Русак, Н. А. Русак – Мн. – Высшэйшая школа. – 2004. – с. 104

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

##### **Сумина Ирина Сергеевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Студент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: heatomgups@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

##### **Sumin Irina Sergeyevna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644000, the Russian Federation.  
student of the department "Heat power engineering" OSTU.  
E-mail: heatomgups@mail.ru

**Верховская Ольга Владимировна**  
Омский государственный университет путей  
сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская  
Федерация.  
Студент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

**Verkhovskaya Olga Vladimirovna**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644000, the Russian  
Federation.  
student of the department "Heat power  
engineering" OSTU.  
E-mail: heatomgups@mail.ru

УДК 620.9

### **П. В. Выходцев**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

*В статье раскрывается возможность внедрения авиационных ГТД в энергетику. Представлены основные требования, которым должен удовлетворять привод. Представлен пример станции с авиационными ГТД для выработки тепловой и электрической энергии.*

*Ключевые слова: авиация, двигатели, энергетика, энергия.*

### **Pavel V. Vykhodtsev**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **APPLICATION OF GAS TURBINE AVIATION MOTORS IN POWER ENGINEERING**

*The article reveals the possibility of introducing aviation gas turbine engines into the power industry. The basic requirements that the drive must satisfy are presented. An example of a station with aviation gas turbine engines for generating heat and electricity is presented.*

*Key words: aviation, engines, energy, energy.*

Газотурбинные двигатели – это устройство, которое работает длительное время в условиях предельных температур и нагрузок. В настоящее время авиационные ГТД отработавшие свой ресурс в авиации, находят своё применение в энергетике. На сегодняшний день, для развития промышленной энергетики, применяются приводные газотурбинные установки на базе авиационных двигателей, таких, например, как НК-12СТ, НК-16СТ, НК36СТ,

НК-37, НК-38СТ, АЛ-31СТ, ГТУ-12П, -16П, -25П.

Целью данной научной работы является обзор и необходимость внедрения авиационных ГТД в энергетику.

Примерно 70 – 75% основных узлов и деталей базового двигателя удаётся сохранить при создании приводных агрегатов [1]. Исключением являются узлы, связанные с новым назначением изделия, сменой вида используемого топлива (система регулирования и топливопитания, фронтное устройство камеры сгорания) и появлением в составе конвертированного двигателя силовой турбины. В случае если необходимо повышать температуру газов, внедряются дополнительные мероприятия (замена материалов, охлаждение и т.д.).

Несмотря на разнообразные конструкции авиационных двигателей, им присущи общие черты, поэтому общие принципы преобразования остаются едиными.

Работа привода осуществляется следующим образом: воздух из атмосферы через ВОУ поступает на вход в компрессор, в котором сжимается до определенного давления. В камере сгорания осуществляется сжигание топлива в воздухе, поступающем из компрессора. Продукты сгорания, полученные в камере, расширяясь в турбине, совершают работу, передаваемую компрессору. Далее газ (продукты сгорания) поступает в силовую турбину, расширяясь в ней, развивает мощность, которая посредством выводного вала передается на генератор или электродвигатель.

Конвертирование авиационного ГТД начинается с изучения технического задания, в котором приводятся требуемые величины всех параметров. Требования, которым должен удовлетворять привод:

1. Общие показатели (ГОСТ 29328-92 “Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам”). Такие требования, как: номинальная мощность ГТУ в стационарных условиях, номинальный КПД, максимальная мощность, частота вращения выводного вала, время работы и т.д.

2. Показатели основных узлов и систем:

- 2.1. Компрессоры должны обеспечивать требуемые параметры и запасы устойчивости при неравномерности поля температур и поля давлений не менее 0,99; регулярных пульсаций температуры и давления в потоке не более 0,01; потери полного давления во входном устройстве не должны превышать 0,3%. На входе в компрессор устанавливается система обогрева и подачи моющего раствора в проточную часть двигателя.

2.2. Камера сгорания работает на природном газе подготовленном по ГОСТ 29328-92 (низшая теплота сгорания должна быть не менее  $7600 \text{ ккал/м}^3$ , плотность газа не менее  $0,65 \text{ кг/м}^3$ , температура газа на входе в ГТУ не менее  $+30^\circ\text{C}$ . Так как имеется большая запыленность воздуха, необходимо покрытие жаровой трубы специальными эмалями.

2.3. Требования к турбине газогенератора – изменение системы разгрузки опоры от осевого усилия, действующего на ротор (следует уменьшить величину осевой силы путем изменения давления или конструкции разгрузочных полостей. Так же для обеспечения осевого выхода газа из турбины может потребоваться постанровка раскручивающего аппарата.

2.4. Требования к силовой турбине – мощность силовой турбины, частота вращения и диапазон ее изменения должны соответствовать требованиям ГОСТ 29328-9. КПД на номинальном режиме должен быть не менее  $0,92\dots 0,93$ . Рабочие лопатки СТ должны выполняться с бандажными полками. Длительная работа в условиях сильной запыленности.

3. Система подготовки воздуха, топливного газа, масла;

4. Системы диагностики – компоновка элементов двигателя должна обеспечить удобный и безопасный доступ для проведения работ по обслуживанию.

Пример использование таких двигателей приведен на рисунке 1. Электростанция укомплектована необходимыми системами обеспечения (топливной, пусковой, масляной и другими) и вспомогательными устройствами.

ГТЭС поставляется в виде блока высокой заводской готовности, который можно транспортировать железнодорожным, автомобильным и водным транспортом.

Использование авиационных ГТД имеет следующие преимущества:

1. Высокая надежность, показатель наработки до капитального ремонта составляет 25-35 тыс. ч, ресурс основных узлов – до 100 тыс. ч;

2. КПД до 88 % достигается не только за счет КПД установки (до 36 %), но и за счет утилизации тепла уходящих газов;

3. Экономичность установок, короткий срок окупаемости (1 – 3,5 года) при не большом сроке строительства;

4. Коэффициент технической готовности достигает 0,99;

5. Автоматическая система управления и широкая диагностика технического состояния, простота в управлении, минимальная численность обслуживающего персонала;

6. Высокие экологические показатели: удельные выбросы  $N_{ox}$  в пределах 50 – 150 мг/нм<sup>3</sup>, СО не более 300 мг/нм<sup>3</sup> и уровень шума не более 80 дБ.



Рис. 1. Газотурбинная блочно-модульная электростанция ГТЭС «Урал-6000»

Таким образом, можно сделать вывод исходя из вышесказанного. Внедрение авиационных ГТД в энергетику имеет ряд преимуществ:

1. Повышение технического уровня и эффективности энергопроизводства;
2. Сохранение и поддержание высоких технологий авиадвигателестроения за счет расширения сфер применения этих технологий;
3. Решение экологических проблем на фоне растущего техногенного воздействия на окружающую среду.

#### Список литературы

1. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения / Е.А. Гриценко, В.П. Данильченко, С.В. Лукачев, В.Е. Резник, Ю.И. Цыбизов; СНЦ РАН. – Самара, 2004. – 266 с.
2. Газотурбинная блочно-модульная электростанция ГТЭС «Урал-6000» мощностью 6 МВт [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [http://www.pmz.ru/products/eps/gts\\_ural-6000/](http://www.pmz.ru/products/eps/gts_ural-6000/) [Дата обращения 19.03.2019].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Выходцев Павел Витальевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Студент кафедры «Теплоэнергетика»

ОмГУПС.

E-mail: swocs@bk.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Vykhodtsev Pavel Vitalyevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student of the department "Heat power engineering" OSTU.

E-mail: swocs@bk.ru

УДК 621.923.1.001.57

**М. В. Кокшаров<sup>1</sup>, Ю. Н. Вивденко<sup>2</sup>, Д. Е. Достовалов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация.

<sup>2</sup>Сибирский государственный автомобильно-дорожный университете (СибАДИ),  
г. Омск, Российская Федерация

## РЕШЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*В статье изложены результаты разработок, связанных со снижением трудоемкости и себестоимости экспериментально-опытных работ, направленных на создание сложных технических систем. Приёмом повышения эффективности этих работ является применение положений теории подобия и физического моделирования. Приведен упрощенный алгоритм обоснования физической модели с возможным использованием трех теорем подобия. Показаны возможности оценки точности полученного результата на примерах конструкций деталей энергетических турбомашин. Изложенные материалы могут быть рекомендованы при подготовке к повышению квалификации специалистов.*

*Ключевые слова: эксперимент, физическое моделирование, критерии подобия, оригинал, модель, алгоритм, погрешность.*

**Maksim V. Koksharov<sup>1</sup>, Yury N. Vivdenko<sup>2</sup>, Dmitry E. Dostovalov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Omsk state University of railway engineering (OSTU), Omsk, Russian Federation.

<sup>2</sup>Siberian state automobile and road university (SIBADI), Omsk, Russian Federation

## SOLUTION OF CONSTRUCTIVE TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF ENERGY BY PHYSICAL MODELING METHODS

*The article presents the results of development related to the reduction of the complexity and*

*cost of experimental and experimental work aimed at creating complex technical systems. The method of increasing the effectiveness of these works is the application of the principles of the theory of similarity and physical modeling. A simplified algorithm for substantiating a physical model with the possible use of three similarity theorems is given. The possibilities of assessing the accuracy of the result obtained are shown using examples of designs for parts of energy turbomachines. The outlined materials can be recommended when preparing for advanced training of specialists.*

*Key words: experiment, physical modeling, similarity criteria, original, model, algorithm, error.*

Создание и применение теплоэнергетического оборудования во многом связано с решением комплекса задач обеспечения эффективности и надежности сложных многокомпонентных систем. Решение этих задач имеет ряд особенностей, к числу которых относят отвечающие требованиям надежности и достоверности программы экспериментальных и опытных работ [1, 2].

Требованиям достоверности в наибольшей мере отвечают работы, проведенные с применением оригиналов объектов-конструкций и технологий.

Вместе с тем, выполнение программ экспериментально-исследовательских опытных работ и испытаний сложных систем связано с повышенной трудоёмкостью и себестоимостью.

Известный опыт проведения указанных работ и полученных при этом результатов показал, что значительную часть таких работ можно выполнить с сокращением трудоемкости и себестоимости за счёт решения задач с применением положений теории подобия и физического моделирования [3, 4]. Такой опыт известен при решении задач конструкторского и технологического профиля [5, 6].

Разработаны методы оценки точности полученных результатов решений на основе положений теории подобия [7, 8].

Укрупненный алгоритм решения задач по проведению экспериментальных исследований с применением физического моделирования и положений теории подобия приведен на рис. 1. В соответствии с этим рисунком алгоритм решений определяется наличием математической модели оригинала. Это связано с использованием одной из трех теорем подобия.

Подготовленные критерии подобия позволяют по данным, полученным на физических моделях, получить необходимые данные для оригинала.

Выполненные решения показали, что с использованием разных видов

подобия можно решать широкий диапазон конструкторских, технологических и других задач.

Фрагменты путей таких решений приведены в табл. 1.

Ниже приведены фрагменты решений, связанных с производством, ремонтом и обслуживанием деталей энергетических турбомашин типа “лопатка” с рабочими поверхностями аэродинамического профиля. Деталь проходит обработку на технологических процессах газотермического напыления, электроалмазное шлифование и очистки от загрязнений (табл. 1).

Структура решения задач приведена на примере процесса шлифования товарных деталей. Этот вид обработки был принят за процесс-оригинал. Условия этого процесса для конкретного вида деталей определяли на образцах цилиндрической формы с учётом геометрической простоты этой формы для экспериментальных условий. Этот вид обработки принят за процесс-модель.

Таблица 1

Решений задач с применением разных видов физического подобия

| Частные задачи  | Применяемые виды подобия  | Физическая модель как результат решения  |
|---|---|--|
| Разработка технологического процесса газотермического напыления при восстановлении рабочих поверхностей | Технологическое подобие   | Процесс нанесения покрытий на детали на автоматизированной установке           |
| Обоснование системы размерной обработки восстановленных рабочих поверхностей                            | Кинематическое подобие  | Станок с ЧПУ с оснасткой для автоматизированной обработки поверхностей деталей |
| Получение данных для условий очистки от загрязнений проточной части детали                              | Гидравлическое подобие  | Система струйной очистки поверхностей детали двухфазным составом               |
| Общая задача  | Создание автоматизированной системы для обслуживания и ремонта рабочих колес ротора газовой турбины |  |

Решению подлежала задача по оценке суммарной погрешности обработки процесса-оригинала на основе имеющихся данных по суммарной погрешности обработки процесса-модели.

Решение задачи сводится к определению критериев подобия, с помощью которых устанавливаются закономерности взаимно однозначного соответствия процесса-модели процессу-оригиналу. При этом критерии подобия являются безразмерными смешанными комплексами определённых групп параметров,

характеризующих ход указанных процессов. В рассматриваемом случае определение критериев подобия проведено с помощью метода системы относительных единиц.

Решение проводится в несколько этапов в соответствии с рис. 2.

Одним из условий, определяющих подобие указанных процессов, является наличие подобия между их объектами. Так, если две фигуры в пространстве, в прямоугольной системе координат  $X, Y, Z$ , какими являются цилиндрическая поверхность и поверхность аэродинамического профиля (области точек  $V_1$  и  $V_2$ ) могут быть представлены как  $P_1 = f(X_1; Y_1; Z_1)$  и  $P_2 = f(X_2; Y_2; Z_2)$ , то  $P_1$  будет подобна  $P_2$ , когда для нелинейно сходных точек областей  $V_1$  и  $V_2$  будут справедливы соотношения:

$$P_2 = \Psi_2 \cdot P_1, \text{ а } \Psi_2 = \Psi_1(X_1; Y_1; Z_1),$$

где  $X_1; Y_1; Z_1$  – пространственные координаты области  $V_1$ ;  $X_2; Y_2; Z_2$  – пространственные координаты области  $V_2$  нелинейно подобной области  $V_1$ ;  $\Psi_1$  – масштабные коэффициенты.

Для обеспечения нелинейного подобия указанных поверхностей необходимо выполнение соотношения:

$$P_{*2} = \Psi_{*2} P_{*1},$$

где  $P_{*2} = \frac{P_2}{P_{2Б}}$ ;  $\Psi_{*2} = \Psi_2 / \Psi_{2Б}$ ;  $\Psi$  – безразмерные характеристики соответствующих величин [7].

Для решения задачи совместим координаты центров рассматриваемых фигур с центром координат. В таком случае координаты  $X$  и  $Y$  для цилиндра будут равны радиусу цилиндра, а для всей сферы они будут определяться как  $X(Y) = R_c \cdot \sin \varphi_i$ . По оси  $Z$  координаты равноправны. Переход к относительным характеристикам в соответствии с выражением  $P_{*2} = \Psi_{*2} P_{*1}$  осуществляется по уравнению

$$\frac{X_{Ci}}{X_{Бc}} = \left| \frac{\Psi_i}{\Psi_{Б}} \right| \left| \frac{X_{Ц}}{X_{Бc}} \right|,$$

$$\text{где } \Psi_{Ci} = \frac{X_{Ci}}{X_{Ц}}, \Psi_{Бc} = \frac{X_{Бc}}{X_{Бц}}.$$

Таким образом, между рассматриваемыми поверхностями была установлена линейная связь в соответствии с заданными точками.

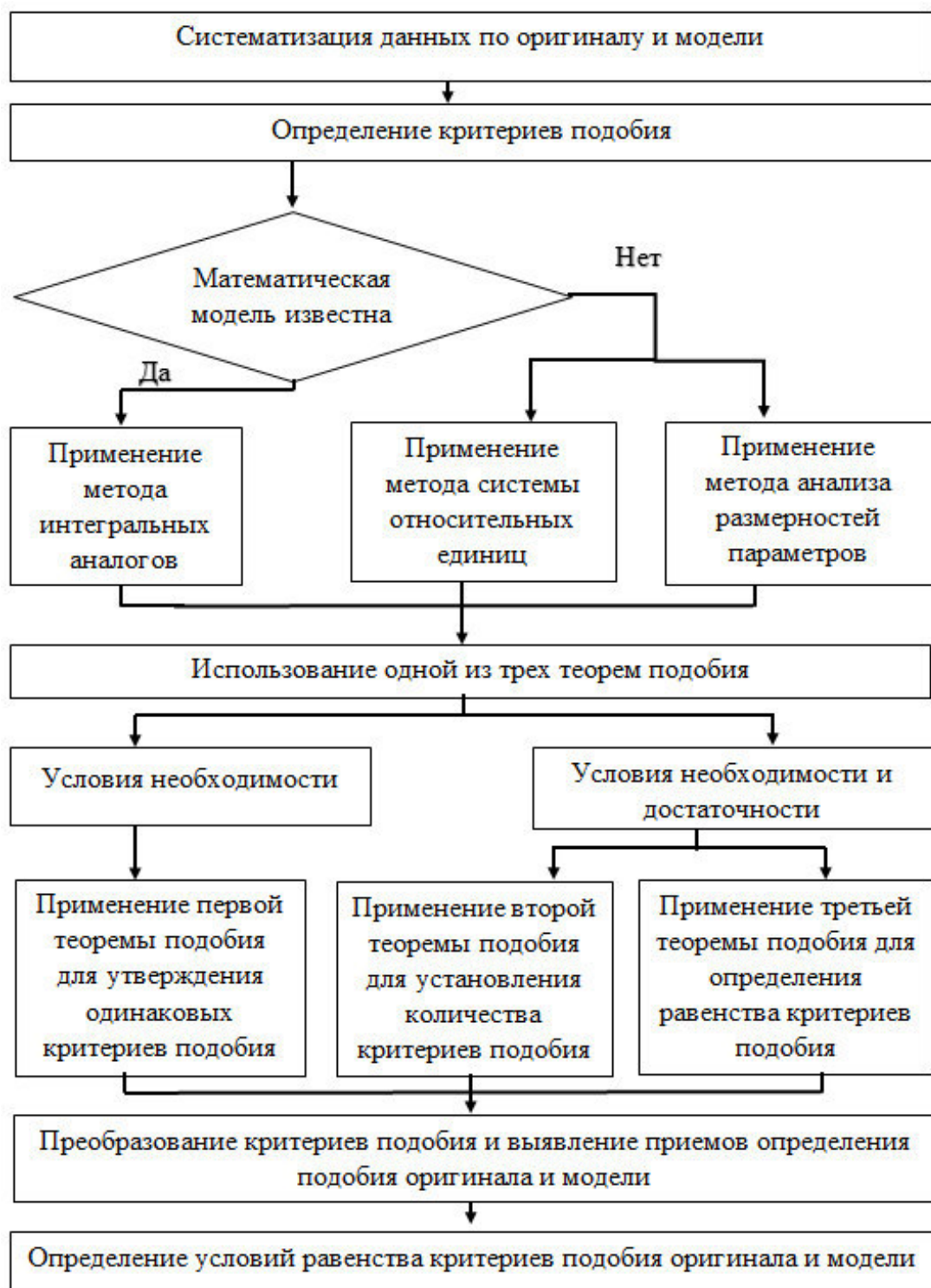


Рис. 1. Укрупненный алгоритм обоснования физической модели на основе

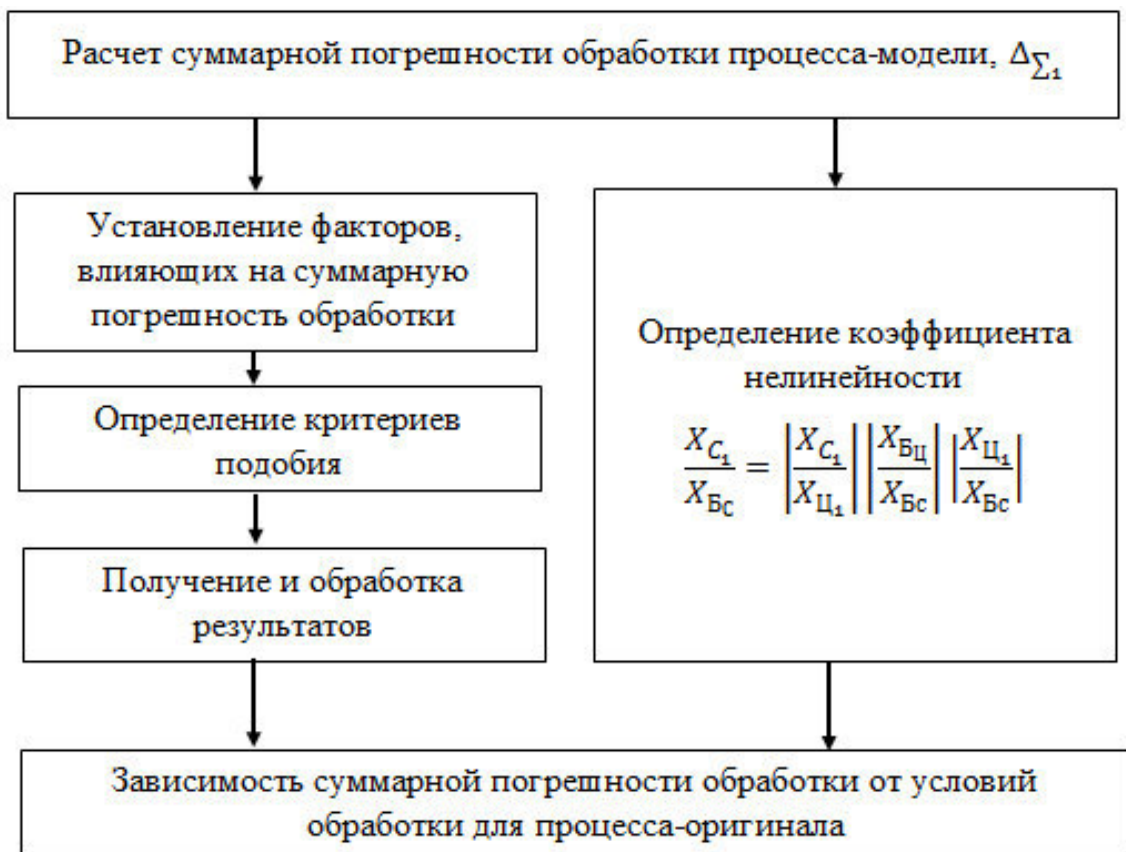


Рис. 2. Схема этапов решения задачи прогнозирования суммарной погрешности обработки деталей аэродинамического профиля

В качестве исходных данных процесса-модели и процесса-оригинала были приняты функциональные зависимости, характеризующие процесс шлифования деталей:

$$f(\Delta_{\Sigma 1}, V_{k1}, V_{D1}, t_{M1}, S_{21}, S_{11}, h_{V1}) = 0 ;$$

$$f(\Delta_{\Sigma 2}, V_{k2}, V_{D2}, t_{M2}, S_{22}, S_{12}, h_{V2}) = 1,$$

где  $f(\Delta_{\Sigma 1}, V_{k1}, V_{D1}, t_{M1}, S_{21}, S_{11}, h_{V1})$  – условия обработки и выходные характеристики процесса модели,  $f(\Delta_{\Sigma 2}, V_{k2}, V_{D2}, t_{M2}, S_{22}, S_{12}, h_{V2})$  – условия обработки и выходные характеристики процесса оригинала.

По результатам выполненных решений были получены критерии подобия, на основе которых прогнозируется суммарная погрешность обработки процесса оригинала и её зависимость от условий обработки. Отдельные критерии подобия имеют вид:

$$\pi_1 = \frac{\frac{V_{D_1} \cdot t_{K_1}}{\Delta_{\Sigma_1}} \cdot \frac{S_{2_1} \cdot t_{K_1}}{\Delta_{\Sigma_1}}}{\frac{V_{K_1} \cdot t_{K_1}}{\Delta_{\Sigma_1}}} \cdot \frac{\frac{\Delta_{\Sigma_{1Б}}}{V_{D_{1Б}} \cdot t_{K_{1Б}}} \cdot \frac{\Delta_{\Sigma_{1Б}}}{S_{2_{1Б}} \cdot t_{K_{1Б}}}}{\frac{\Delta_{\Sigma_{1Б}}}{V_{K_{1Б}} \cdot t_{K_{1Б}}}} V_{D_1}$$

На основании полученных результатов было установлено, что разработанный метод прогнозирования суммарной погрешности на основе положений теории подобия, моделирования и размерности может быть использован для назначения условий обработки широкой номенклатуры деталей со сложными поверхностями.

Полученные критерии подобия позволяют установить закономерности управления автоматизированным процессом обеспечения заданных требований точности обработки сложных поверхностей деталей. Получение необходимых данных на этапе технологической подготовки производства в процессе экспериментальных исследований позволило исключить использование дорогостоящего оборудования; многократно сократить трудоёмкость экспериментальных работ; уменьшить затраты на расходные материалы; сформировать базу технологических условий при ее отсутствии в нормативно-правовой базе.

Рассмотренные и реализованные решения на основе положений теории подобия, физического моделирования и размерностей обеспечивают получение исходных данных при разработке новых конструкций и технологий с помощью менее затратных экспериментально-опытных работ с достаточной точностью полученных результатов.

Изложенные материалы могут быть использованы при подготовке и повышении квалификации специалистов, связанных с проектированием сложных технических систем: основного и вспомогательного технологического оборудования и технологических процессов.

#### Список литературы

1. Афанасьев, А. А. Обеспечение качества изделий: учебное пособие. / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин, Т. А. Блинов. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 472 с.
2. Труханов, В. М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытаний опытных образцов / В. М. Труханов. – М: Машиностроение, 2003. – 320 с.
3. Кирпичев, М. В. Теория подобия как основа эксперимента /

М. В. Кирпичев. – М.: Изд-во АН СССР. – 1947. – 215 с.

4. Седов, Л. И. Методы подобия и размерностей в механике. / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1987. – 388 с.

5. Дальский, А. М. Применение технологического подобия при формировании номенклатуры выпускаемых изделий // Известия вузов. Машиностроение. – 2002. - № 2/3. – С.84 – 89.

6. Вивденко, Ю. Н. Технологические системы производства деталей наукоёмкой техники. / Ю. Н. Вивденко. – М.: Машиностроение, 2006. – 559 с.

7. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования. / В. А. Веников, В. Г. Веников. – М.: Высш. школа, 1984. – 439 с.

8. Клайн, Д. С. Подобие и приближённые методы. / Д. С. Клайн. – М.: Мир. – 1988. – 320 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Кокшаров Максим Валериевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: maxkok@mail.ru

##### **Вивденко Юрий Николаевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университете (СибАДИ).  
644080, г. Омск, пр. Мира, 5.  
профессор, доктор технических наук кафедры СибАДИ.

##### **Достовалов Дмитрий Евгеньевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университете (СибАДИ).  
644080, г. Омск, пр. Мира, 5.  
студент кафедры СибАДИ.

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Koksharov Maksim Valeriyevich**

Omsk state University of railway engineering (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Senior lecturer of the Department "Heat power engineering" OSTU.  
E-mail: maxkok@mail.ru

##### **Vivdenko Yury Nikolaevich**

Siberian state automobile and road university (SIBADI).  
644080, Omsk, Mira Ave., 5.  
Professor, Doctor of Engineering of department of SIBADI.

##### **Dostovalov Dmitry Evgenyevich**

Siberian state automobile and road university (SIBADI).  
644080, Omsk, Mira Ave., 5.  
student of department of SIBADI.

**А. В. Штиб, В. Р. Ведрученко**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **ХИММОТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА КАК ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ**

*Выполнен развернутый химмотологический анализ нефтяных топлив для дизелей широкого класса. Показано влияние свойств топлив на показатели работы дизеля в различных условиях эксплуатации. Обосновано применение топливных смесей из тяжелых и легких дизельных на базе статистической модели оценки совместимости разных сортов и марок нефтяного топлива.*

*Ключевые слова: топливо, химмотология, топливные смеси, дизельные двигатели, альтернативное топливо.*

**Alexey V. Shtib, Victor R. Vedruchenko**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **CHEMICAL ANALYSIS AND SELECTION OF GAS CONDENSATE AS FUEL FOR DIESEL ENGINES**

*A detailed chemical analysis of oil fuels for diesel engines of a wide class was performed. The influence of fuel properties on the performance of diesel in different operating conditions is shown. Justified the use of fuel blends of heavy and light diesel on the basis of the statistical model evaluation of the compatibility of different varieties and brands of fuel oil.*

*Key words: fuel, chemistry, fuel mixtures, diesel engines, alternative fuel.*

Для обеспечения надежности и безопасности двигателя важнейшее значение имеют физико-химические и эксплуатационные свойства топлива. Проблема оценки надежности и безопасности эксплуатации двигателя является комплексной и требует анализа сложной системы «химмотологический комплекс-двигатель-среда» (ХКДС). [1]. Обеспечение экологических характеристик дизельных транспортных средств и их сохранение в процессе эксплуатации напрямую зависят от применения высококачественных моторных

топлив. Поэтому изготовители двигателей непосредственно обращаются к производителям топлив и принимают совместные программы, направленные на решение экологических проблем [6 – 9].

Все химмотологические процессы в той или иной степени связаны с энергообразованием и вносят вклад в эффективность двигателя. Воспламенение и горение топлива непосредственно определяют преобразование химической энергии в тепловую. Подача топлива, испарение и смесеобразование являются подготовительными процессами к ним. Образование отложений и токсических продуктов в отработавших газах можно рассматривать, как неизбежный результат процесса сгорания. Весь период эксплуатации двигателя сопровождается тепловыми и коррозионными процессами, определяемыми термодинамической неустойчивостью металла и коррозионной агрессивностью топлив. Смазывание трущихся деталей топливной аппаратуры обеспечивает работоспособность механизмов впрыска, снижает потери на трение и износ.

Эффективность применения топлива в двигателе зависит от сохраняемости качества топлива, которая определяется стабильностью эксплуатационных свойств в условиях хранения, транспортирования и перекачки [1].

Экологическая безопасность применения топлива определяется, наряду с условиями эксплуатации, токсическими свойствами топлив, токсичностью отработавших газов и пожароопасными характеристиками топлив [6].

Химмотологический анализ топлива для дизелей. Применяемые нефтяные топлива в зависимости от метода их получения подразделяют на два вида: дистиллятные и тяжелые. Дистиллятные топлива состоят из легких фракций, получаемых дистилляцией в установках по переработке нефти, характеризуются малой вязкостью  $\nu = 3 - 6 \text{ мм}^2/\text{с}$  и поэтому не нуждаются в подогреве перед подачей к двигателям или котлам. Тяжелые топлива представляют собой смеси, состоящие из остаточных продуктов переработки нефти и дистиллятов [4].

В зависимости от соотношения легких и тяжелых компонентов вязкость тяжелых топлив, как и другие их показатели, варьируется в широких пределах [10 – 12]. Качество топлив регламентируется государственными стандартами и техническими условиями.

Начавшийся ранее и все более распространяемый процесс вовлечения в производство топлив продуктов вторичной переработки нефти потребовал

пересмотра действующих стандартов и спецификаций, расширения предельных значений показателей качества и привлечения дополнительных показателей (таких, как содержание алюминия, стабильность и совместимость топлив и др.).

Дистиллятные топлива. Нефтяная промышленность поставляет на флот и транспорт судовое маловязкое топливо (СМТ), предназначенное для замены дизельного и газотурбинного топлив. Последнее вырабатывают путем смешивания дистиллятов вторичных процессов (коксования, термического и каталитического крекинга) с дизельными фракциями с повышенным концом кипения, взятыми из атмосферной и вакуумной колонн [7].

Тяжелые топлива представляют собой смеси прямогонных, а в последние годы – крекинг-остатков с дистиллятами. По вязкости топлива подразделяют на два вида – средневязкие ( $v_{50}$  до  $35 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) и высоковязкие ( $v_{50} > 35 \text{ мм}^2/\text{с}$ ). Из отечественных топлив к средневязким принято относить моторное топливо ДТ (ГОСТ 1667-68) и флотский мазут Ф-5 (ГОСТ 10585-75), хотя верхний предел их вязкости превосходит  $35 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Средневязкие топлива можно применять не только в главных мало- и среднеоборотных двигателях, но и в двигателях вспомогательных дизель-генераторов. При этом необходимы подогрев топлива в танках запаса (местный подогрев у приемного патрубка), в отстойных и расходных цистернах и перед двигателем и котлом, а также эффективная очистка [6].

Высоковязкие топлива: топочный мазут марки 40 или 40В (ГОСТ 10585-75) – представляет собой компаундированное прямогонное топливо вязкостью до  $170 \text{ мм}^2/\text{с}$  при  $50^\circ\text{C}$ . Он обладает высокой температурой застывания (до  $25^\circ\text{C}$ ) и высокой зольностью (до  $0,12 \%$ ).

Мазут М40 является основным видом топлива для малооборотных дизелей при условии, что их система топливоподготовки оснащена эффективными средствами очистки и подогрева. Заменителем топочного мазута служит моторное топливо ДМ вязкостью не более  $150 \text{ мм}^2/\text{с}$ , содержание серы не более  $1,5 \%$ , но зольность может достигать  $0,15 \%$  [2, 3].

Для высоковязких топлив характерны повышенное содержание ароматиков, смол, асфальтенов, а также серы, золы и механических примесей [2, 6, 10 – 12].

Групповой химический состав моторных топлив в основном зависит от состава нефти, из которой выработан данный нефтепродукт [2, 3, 7]. Если для дизельных топлив необходимость в подогреве для снижения вязкости отпадает,

то для тяжелых топлив предварительный подогрев в паровых или электрических подогревателях является обязательным условием их подготовки, так как только этим путем можно достигнуть требуемой меньшей вязкости. Влияние вязкости и сжимаемости на характеристику впрыска, в зависимости от конструкции топливной аппаратуры, различно, но во всех случаях оно в той или иной мере отражается на качестве распыливания и последующего сгорания топлива [11].

Стабильность топливных смесей. В связи с тем, что основную часть нефти добывают в восточных районах России и для нее характерно повышенное содержание асфальтенов (до 6%) и смолистых веществ, поставляемые в настоящее время вязкие топлива содержат до 25 % смолисто-асфальтеновых углеводородов, и их влиянием на стабильность топливной смеси пренебрегать нельзя [3, 6, 10,11].

Чтобы оценить стабильность топливной смеси из нефтяных топлив, необходимы данные взаимной растворимости групп углеводородов жидких топлив: парафиновых, ароматических смол, асфальтенов. [7].

Термодинамический анализ имеющихся данных по растворимости для целого ряда бинарных систем типа парафиновые – нафтеновые, парафиновые – ароматические нафтеновые – ароматические, позволил установить, что смеси топлив, содержащие только указанные группы углеводородов, образуют стабильные смеси, не расслаивающиеся при хранении.

При смешении вязкого топлива, в состав которого входят асфальтены, с маловязким топливом, содержащим значительное количество парафино-нафтеновых углеводородов, уменьшаются толщины адсорбированного слоя вокруг частиц асфальтенов и при их столкновении происходит коагуляция, которая обуславливает расслоение топливной смеси [8].

Установлено, что с увеличением в смеси доли тяжелого топлива ее стабильность повышается. Для смеси дизельного и моторного топлив наименее стабильны смеси с содержанием 15 – 25% топлива ДТ [2, 3].

Это объясняется тем, что увеличение доли вязкого топлива стабилизирует асфальтены благодаря введению избытка смол и ароматических углеводородов.

В табл. 1 представлены, сформированные нами, данные по свойствам ряда топлив для дизельных двигателей. В данной таблице нами обобщены физические свойства, групповой и фракционный составы, что позволяет расчетом определять коэффициент совместимости разных сортов и марок

топлива для приготовления смесей как с целью снижения затрат на топливо, так и уменьшения токсичности отработавших газов дизелей при использовании смесей тяжёлых и лёгких (экологически более чистых) топлив [10].

Таблица 1

| Марка топлива  | Вяз-<br>кость<br>$\nu_{20}$ ,<br>мм <sup>2</sup> /с | Плот-<br>ность<br>$\rho_4^{20}$ ,<br>г/см | Пара-<br>фино-<br>вые (П),<br>% | Наф-<br>тено-<br>вые<br>(Н), % | Аро-<br>мати-<br>ки (А),<br>% | Фракционный<br>состав, °С |                  |                  |
|--|---|---|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
|  |   |   |                                 |                                |                               | t <sub>10%</sub>          | t <sub>50%</sub> | t <sub>90%</sub> |
| Топливо расширенного фракционного состава ТУ 38.401500-84        | 6,0   | 0,811                                     | 46,0                            | 40,0                           | 14,0                          | 100                       | 290              | 370              |
| Топливо утяжеленного фракционного состава (УФС), ТУ 38.001355-86 | 6,5   | 0,840                                     | 40,0                            | 42,0                           | 18,0                          | 190                       | 290              | 380              |
| Топливо широкого фракционного состава (ШФС)                      | 5,5   | 0,790                                     | 39,2                            | 42,8                           | 18,0                          | ПО                        | 250              | 340              |
| Топливо моторное марки ДТ, ГОСТ 1667-68                          | 4,4   | 0,930                                     | 38,0                            | 36,0                           | 26,0                          | 255                       | 355              | 460              |
| Топливо газотурбинное (ТГВК), ГОСТ 10433-82                      | 3,6   | 0,860                                     | 39,0                            | 39,0                           | 32,0                          | 210                       | 290              | 360              |
| Топливо дизельное марки «З», ГОСТ 305-82                         | 4,5   | 0,820                                     | 43,4                            | 35,3                           | 21,3                          | 190                       | 280              | 340              |
| Топливо дизельное марки «Л», ГОСТ 305-82                         | 6,0   | 0,835                                     | 41,0                            | 40,0                           | 19,0                          | 180                       | 250              | 360              |
| Синтетическое жидкое дизельное топливо (СЖТ) из углей            | 6,2   | 0,842                                     | 33,4                            | 26,4                           | 40,2                          | 196                       | 252              | 315              |
| Топливо судовое маловязкое (СМТ), ТУ 38.101567-87                | 11,4  | 0,890                                     | 32,4                            | 38,8                           | 28,8                          | 240                       | 345              | 400              |
| Опытное №1 СМТ (БашНИИ НП)                                       | 4,8   | 0,845                                     | 32,4                            | 30,5                           | 28,9                          | 205                       | 285              | 355              |
| Опытное №2 СМТ (БашНИИ НП)                                       | 2,8   | 0,812                                     | 48,2                            | 30,5                           | 11,3                          | ПО                        | 295              | 360              |
| Опытное №3 СМТ (БашНИИ НП)                                       | 9,2   | 0,880                                     | 22,8                            | 27,1                           | 50,1                          | 255                       | 350              | 380              |
| Опытное №4 СМТ (БашНИИ НП)                                       | 5,5   | 0,838                                     | 34,8                            | 24,0                           | 41,2                          | 120                       | 245              | 335              |
| Газовый конденсат (ГК) (Вултыкское месторождение)                | 1,7   | 0,730                                     | 70                              | 18                             | 12                            | 70                        | 147              | 350              |
| Газовый конденсат (ГК) (Оренбургское месторождение)              | 1,2   | 0,740                                     | 70                              | 20                             | 10                            | 40                        | 85               | 200              |

#### Выводы.

1. Опытная эксплуатация и проведенные эксперименты показали [1–3, 6,

7, 11, 12], что весовая производительность топливной системы дизеля на сжиженном газе, ДМЭ, спиртах, бензинах, маловязких ГК и других легких топливах по сравнению с производительностью на дизельном топливе уменьшается в среднем до 50 %.

2. Для сохранения постоянной номинальной мощности серийного дизеля на топливах малой вязкости необходимо увеличить производительность топливного насоса высокого давления за счет его перерегулировки (увеличения угла опережения впрыска, снижения усилия затяга пружины форсунки, если имеется запас по активному ходу плунжера) или путем замены серийных плунжерных пар парами большего диаметра, значение которого можно определить соответствующим расчетом [13 – 14].

3. Использование в дизелях смесей легких и тяжелых топлив (без дополнительных регулировок топливной аппаратуры) возможно при сохранении вязкости смеси в пределах ее значений для топлив по ГОСТ 305-82.

#### Список литературы

1. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: Учебное пособие / В. В. Остриков, С. А. Нагорнов и др. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – 304 с.

2. Топлива и топливные системы судовых дизелей [Текст] / Ю. А. Пахомов [и др.]. – М.: ТрансЛит, 2007. – 496 с.

3. Селиверстов, В. М. Экономия топлива на речном флоте [Текст] / В. М. Селиверстов, М. И. Браславский. – М.: Транспорт, 1983. – 231 с.

4. О выборе схем и разработке технических решений систем топливоподачи альтернативных и тяжелых топлив в дизелях. В 2 ч. Ч. 1. [Текст] / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов и др. // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2010. – № 2 (90). – С. 157 – 162.

5. О выборе схем и разработке технических решений систем топливоподачи альтернативных и тяжелых топлив в дизелях. В 2 ч. Ч. 2. [Текст] / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов и др. // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2010. – № 3 (93). – С. 138 – 143.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Штиб Алексей Викторович**

Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
shtib93@mail.ru

### **Ведрученко Виктор Родионович**

Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Доктор технических наук, профессор  
кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
vedruchenkovr@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Shtib Alexey Viktorovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
post-graduate student of the department  
«Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: shtib93@mail.ru

### **Vedruchenko Victor Rodionovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Doctor of technical Sciences, Professor  
(Russia), Professor in the Department «Heat  
power engineering».  
E-mail: vedruchenkovr@mail.ru

УДК 621.923.04

### **Д. А. Бейсембаев**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДИСКА ГТД**

*В данной статье рассматриваются вопросы проектирования специализированной оснастки для операции шлифование в технологическом процессе изготовления вспомогательного диска газотурбинного двигателя.*

*Ключевые слова: газотурбинный двигатель, шлифование, диск, поршень.*

### **Damir A. Beysembaev**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS PRODUCTION OF AUXILIARY DISK GTE**

*This article discusses the design of specialized equipment for grinding operation in the process of manufacturing an auxiliary disk of a gas turbine engine.*

*Key words: gas turbine engine, grinding, disc, piston.*

В машиностроении в общем объеме средств технологического оснащения свыше 50% составляют станочные приспособления, применение которых позволяет:

надежно базировать и закреплять обрабатываемую деталь, с сохранением жёсткости в процессе обработки;

стабильно обеспечивать высокое качество обрабатываемой детали при минимальной её зависимости от квалификации рабочего;

повышать производительность и облегчить условия труда в результате механизации приспособления [1].

Технологическая оснастка – средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса [2].

Рассмотрим деталь типа «Диск», которая является вспомогательный диск газотурбинного двигателя.

Деталь типа «Диск», представляет собой диск диаметром 79,7 мм с пазами типа «ласточкин хвост», расположенными по контуру детали, в центре расположены технологические и установочные отверстия. Количество пазов равно 21, ширина детали 24 мм. На торцевых поверхностях имеются фаски. Рабочие поверхности диска (пазы) имеют шероховатость 0,8 мкм. Вспомогательный диск газотурбинного двигателя изготовлен из титана марки ВТЗ-1 и представлен на рис. 1.

Технологический процесс изготовления вспомогательного диска газотурбинного двигателя, включает в себя операцию шлифование, которая является наиболее трудоемкой операцией.

В связи с этим предложено разработать приспособление под операции шлифование для сокращения времени, затрачиваемого на окончательную обработку и достижения более высокого класса точности.

Далее будут рассмотрены следующие моменты, позволяющее наиболее точно рассчитать и спроектировать оснастку для данной детали, применяющуюся на этапе выполнения операции шлифование.

Обрабатываемая деталь находится в равновесии вследствие действия сил как возникающих в процессе обработки, так и зажима и реакции опор. Основными силами зажима редко учитываются силы веса, центробежные и инерционные, возникающие при определенных условиях обработки [3].

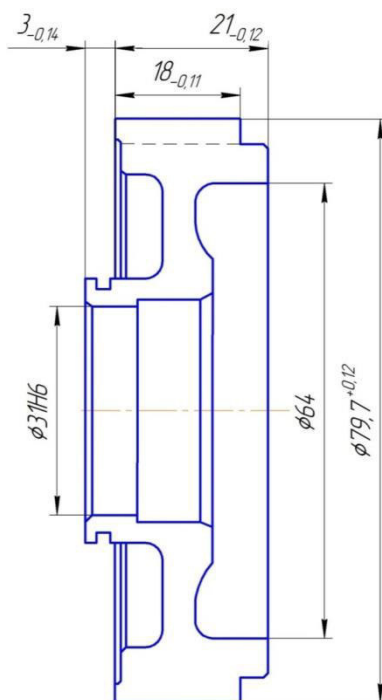


Рис. 1. Вспомогательный диск газотурбинного двигателя

Диаметр поршня находим по следующей формуле:

$$d = D - 2 \sqrt{\frac{P_{исх}}{\pi \cdot P \cdot \eta}}; \quad (1)$$

где  $P$  – рабочее давление в цилиндре, принимаем равным  $P = 0,80$  МПа;

$$d = 80 - 2 \cdot \sqrt{\frac{886,18}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 0,85}} = 41,7 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляем до стандартного  $d = 40$  мм.

Расчёт на смятие.

В общем виде условие смятия представлено в виде:

$$(\sigma_{см})_P \leq (\sigma_{см})_Д; \quad (2)$$

где  $(\sigma_{см})_P, (\sigma_{см})_Д$  – расчетное и допустимое напряжение при статической нагрузке, МПа.  $(\sigma_{см})_Д = 150 \text{ МПа}$ .

Расчетное напряжение смятия:

$$(\sigma_{см})_P = \frac{W}{F_k}; \quad (3)$$

где  $W$  – сила зажима, Н;

$F_k$  – суммарная площадь контакта детали и приспособления, м<sup>2</sup>.

$$F_k = 0,0101 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем расчётное напряжение смятия для максимального усилия

зажима:

$$(\sigma_{CM})_P = \frac{886,18}{0,0101} = 88623,65 = 0,09 \text{ МПа.}$$

Условие на смятие:

$$0,27 \leq 150 \text{ МПа}$$

Деталь диск имеет не стандартную форму и размер, что усложняет обработку. На стадии шлифовальной операции была разработана специальная оснастка, для закрепления детали. Использование данной оснастки позволит:

устранить разметку заготовок перед обработкой, повысить ее точность, увеличить производительность труда на операции, снизить себестоимость продукции;

облегчить условия работы и обеспечить ее безопасность, расширить технологические возможности оборудования, организовать многостаночное обслуживание;

применить технически обоснованные нормы времени и сократить число рабочих для выпуска продукции.

Проектируемое приспособление (рис. 2) служит для закрепления детали типа Диск при механической обработке.

Приспособление состоит из: пневмоцилиндра – 1, зажимных кулачков – 2, опор – 3, крестообразной закрепляющей пластины – 4, прямоугольной плиты – 11. Элементы приспособления скрепляются между собой болтами – 5 и 8, штифтами – 9, 10.

Деталь устанавливается в кулачки зажимного устройства и зажимается с помощью пневмоцилиндра, при этом деталь лишена 5-и степеней свободы. Пневмоцилиндр крепят на прямоугольную плиту при помощи пазовых болтов. Данный проект технологической оснастки был спроектирован с учетом технологической операции – шлифование и подходит для обработки на выбранном станке.

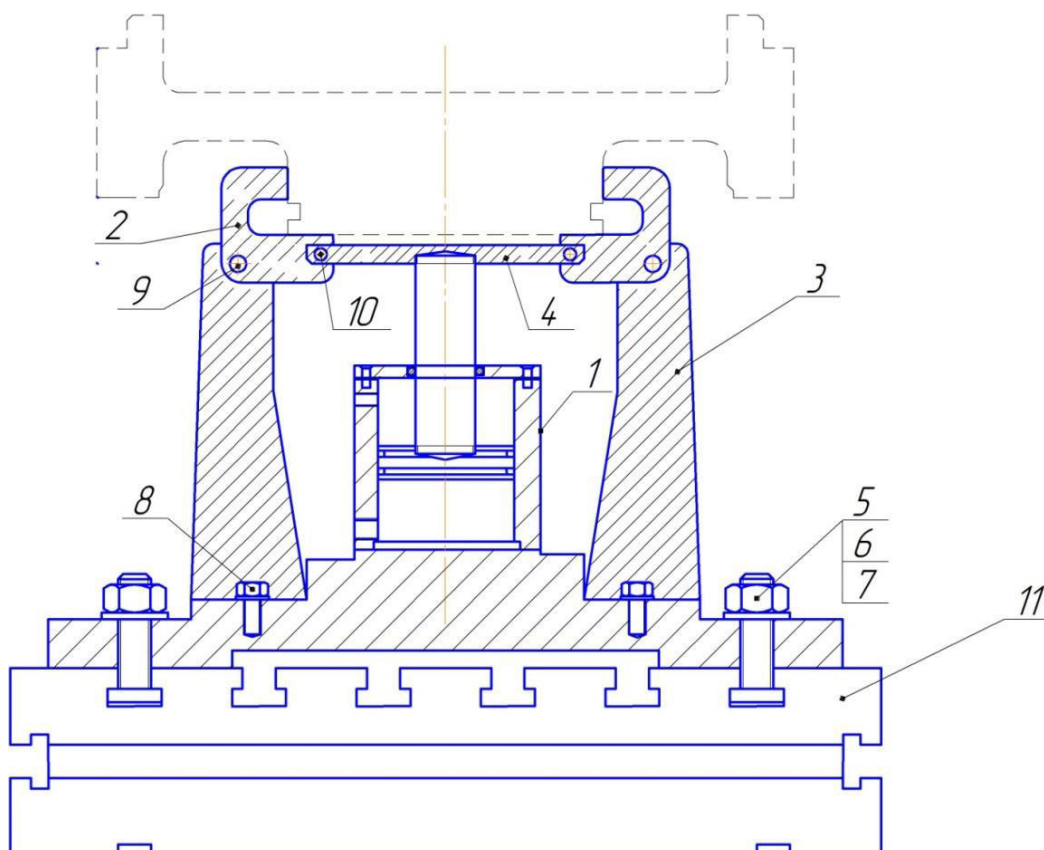


Рис. 2. Приспособление для шлифовальной операции

Таким образом, данное спроектированное приспособление позволяет устранить разметку заготовок перед обработкой, повысить ее точность, увеличить производительность труда на операции, снизить себестоимость продукции, облегчить условия работы и обеспечить ее безопасность, расширить технологические возможности оборудования, организовать многостаночное обслуживание.

#### Список литературы

- 1) Гжиров, Р. И. Краткий справочник конструктора / Р. И. Гжиров. – Ленингр. Отделение: Машиностроение, 1984. – 464 с., ил.
- 2) Антонюк, В. Е. Справочник конструктора по расчёту и проектированию станочных приспособлений 1969 г.
- 3) Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т2. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с., ил.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Бейсембаев Дамир Амангельдыевич**  
Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Магистрант кафедры «Технология  
транспортного машиностроения и ремонт  
подвижного состава», ОмГУПС.

УДК 620.98:62-682

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Beysymbaev Damir Amangeldyevich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Master's student of the Department  
"Technology of transport engineering and  
repair of rolling stock", OSTU.

**М. В. Глухова, В. Ф. Таруга, Д. В. Таруга**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Рассмотрен потенциал энергосбережения при проведении реостатных испытаний тепловозов. Предложено конструктивное решение установки, утилизирующей тепло, полученное при проведении реостатных испытаний.*

*Ключевые слова: тепловоз, реостатные испытания, утилизация тепла.*

**Maria V. Glukhova, Viktor F. Taruta, Dmitry V. Taruta**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## ISPOSAL OF SECONDARY ENERGY RESOURCES WHEN CONDUCTING RHEOSTAT TESTS

*The potential of energy saving when conducting rheostatic testing of diesel locomotives is considered. A constructive solution has been proposed for an installation utilizing the heat obtained during rheostatic tests.*

*Key words: diesel locomotive, rheostat tests, heat utilization.*

Реостатные испытания тепловозов производятся на специальных открытых площадках с использованием жидкостного нагрузочного реостата,

состоящего из металлического бака, в котором смонтирована группа неподвижных (обычно отрицательных) пластин, а между ними – группа подвижных пластин, изолированных от корпуса (рис. 1).

Разноименные пластины надежно изолированы друг от друга так, что электрическая цепь замыкается через воду. Пластины поднимают и опускают механизмом, состоящим из электродвигателя, редуктора, полиспаста и тросовой связи с траверсой подвижных пластин. При погружении подвижных пластин в воду сопротивление цепи падает, и ток тягового генератора растет. Такая конструкция обеспечивает реализацию максимальной мощности дизель-генератора, работу во всем диапазоне нагрузок тягового генератора тепловоза в эксплуатации. Специальная измерительная аппаратура дает возможность контроля необходимых параметров для настройки дизеля и электрической схемы.



Рис. 1. Станции реостатных испытаний тепловозов с жидкостным нагрузочным реостатом

Работа дизель-генераторной установки сопровождается повышенным шумом. К тому же иногда реостатные испытания заканчиваются пожаром на локомотиве. Поэтому испытательные позиции располагаются на открытых площадках удаленных от основных и вспомогательных цехов и отделений (рис. 2). Позиции для реостатных испытаний тепловозов в депо должны располагаться на расстоянии не ближе 300 м от административных зданий, а в отдельных случаях (при близком расположении производственных помещений) возводятся даже шумопоглощающие экраны.



Рис. 2. Расположение станции реостатных испытаний на территории тепловозо-ремонтного депо

Конструкция водяного нагрузочного реостата упрощенном виде представляет собой «солдатский кипятыльник», где два бритвенных лезвия, закрепленные на некотором расстоянии друг от друга присоединены к проводам, другими концами вставленными в розетку. Только этот кипятыльник поглощает огромное количество тепла, которое в буквальном смысле в настоящее время «улетает в трубу», составляя значительный потенциал энергосбережения (рис. 3).

Вода при прохождении через нее электрического тока нагревается, ее удельное сопротивление уменьшается, особенно, если температура приближается к точке кипения (или кипит). Чтобы избежать колебаний нагрузки, рекомендуется поддерживать постоянную температуру  $t_v$  воды в баке (70 – 80°C), изменяя ее количество. Для поддержания температуры воды в определенных пределах нагретую воду раньше по-простому спускали в канализацию, а из водопровода пополняли холодной водой. При таком «регулировании» расход охлаждающей (чистой водопроводной) воды составляет 0,5 л/сек. Правда, в последние годы предлагается горячую воду направлять в отдельные бассейны-испарители [1], но есть ли где-то такие конструкции неизвестно.

В то же время известны примеры рачительного использования вторичных энергетических ресурсов (рис. 4). Например утилизация теплоты реостатных станций на нужды вентиляции промышленных цехов (Локомотивное депо Рубцовск Зап.-Сиб. ж. д.) или отопление оранжерей на примыкающих производственных территориях в сочетании с использованием теплоты от

централизованных источников (Мичуринский ТРЗ Юго- Вост. ж. д.). К сожалению, подобные примеры широкого распространения так и не получили.



Магистральный тепловоз на позиции реостатных испытаний

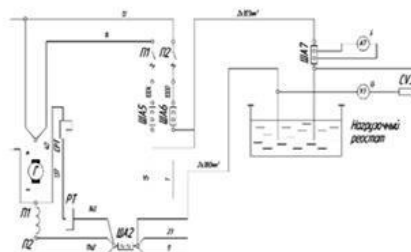


Схема подключения ДГУ тепловоза к нагрузочному реостату

| Позиция контроллера машиниста | Нагрузка, кВт | Продолжительность обкатки ДГУ, мин | Потенциал энергосбережения, Гкал |
|-------------------------------|---------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1                             | 90            | 5                                  | 0,005175                         |
| 2                             | 200           | 10                                 | 0,023000                         |
| 3                             | 340           | 10                                 | 0,039100                         |
| 4                             | 470           | 15                                 | 0,081075                         |
| 9                             | 1160          | 20                                 | 0,266800                         |
| 12                            | 1480          | 30                                 | 0,510600                         |
| 13                            | 1600          | 30                                 | 0,552000                         |
| 14                            | 1735          | 30                                 | 0,598575                         |
| 15                            | 1820          | 60                                 | 1,255800                         |
| ИТОГО                         |               | 240                                | 3,322125                         |

Расчет потенциала энергосбережения

Рис. 3. Потенциал энергосбережения при реостатных испытаниях тепловозов

Поскольку станции реостатных испытаний в депо располагаются на значительном удалении от административных зданий, то для обеспечения их жизнедеятельности требуется затратная организация систем водо-, тепло- и электроснабжения, а также удаления канализационных стоков, а это создает определенные проблемы, в частности, снижает эффективность использования централизованного водоснабжения.

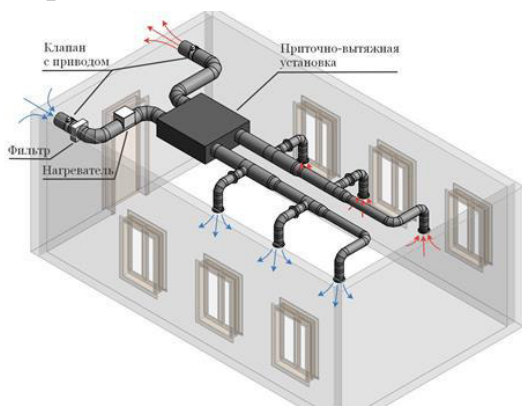


Рис. 4. Примеры рационального использования вторичных энергетических ресурсов на объектах холдинга ОАО «РЖД»

В то же время при реостатных испытаниях тепловоза энергия, вырабатываемая дизель-генераторной установкой, тратится на нагревание воды

в водяном реостате, которую затем различными способами охлаждают.

Непосредственное использование горячей воды, полученной при проведении реостатных испытаний, невозможно по ряду причин, в частности, из-за того, что воду в реостатном баке часто подсаживают для повышения плотности; в воде содержится металлическая окалина, получившаяся в результате гальванических процессов при протекании тока между плюсовыми и минусовыми пластинами нагрузочного реостата и др.

Целесообразно горячую воду пропускать через промышленный теплообменник для нагрева воды низкотемпературной системы отопления станции реостатных испытаний [2].

Различают две принципиальные конструкции теплообменников: кожухотрубные и пластинчатые. Более эффективными, экономичными и долговечными являются пластинчатые теплообменники. Степень охлаждения в пластинчатых теплообменниках в 3 – 4 раза выше, чем в кожухотрубных. Это обусловлено гофрированным профилем пластин, из которых они состоят. Таким образом, площадь поверхности, передающей тепло, в 3 – 4 раза меньше, чем у кожухотрубных, что существенно при стесненных габаритах. Однако, во-первых, они значительно дороже кожухотрубных, а во-вторых, они более требовательны к жесткости воды, что особенно важно, учитывая мероприятия, которые осуществляют с водой в баке нагрузочного реостата, стараясь повысить плотность электролита (смешивая воду с солью). Для кожухотрубных же теплообменников не критичны для использования на станциях реостатных испытаний их большая материалоемкость, значительные габариты и масса [3].

Исходя из изложенных соображений, было предложено конструктивное решение использования низкотемпературного отопления здания станции реостатных испытаний теплотой жидкостного реостата (рис. 5).

В качестве низкотемпературной системы отопления можно использовать систему «теплый пол», плинтусное отопление или отопительные стеновые панели с рабочей температурой теплоносителя в пределах 35 °С, это позволит эффективно использовать теплоту рабочей емкости при ее разрядке при условии ее использования, как теплоаккумулятора. Для минимизации воздействия электрокоррозии предлагается использовать запорную арматуру 2 с диэлектрическими вставками и электроприводом открытия/закрытия. В случае разрядки рабочей емкости (теплоаккумулятора) предлагается использовать резервный электродомкрат 3.

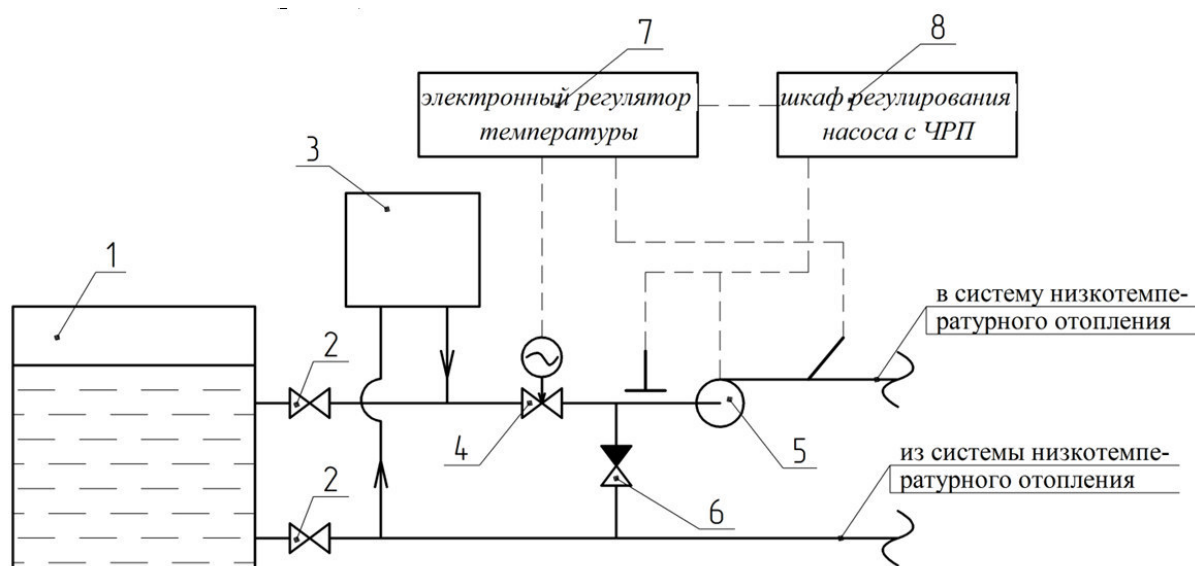


Рис. 5. Схема конструктивного решения, отопления здания станции реостатных испытаний вторичными энергоресурсами из нагрузочной емкости жидкостного реостата:

1 – нагрузочная емкость реостатной станции, 2 – отсекающая запорная арматуры с электроприводом, 3 – пиковый (резервный) электродкотел, 4 – регулирующий клапан, 5 – смесительный насос, 6 – обратный клапан, 7 – электронный регулятор температуры, 8 – шкаф регулирования насосов с частотно-регулируемым приводом

Низкотемпературные системы отопления являются малоинерционными, позволяют поддерживать оптимальную температуру воздуха в рабочей зоне оператора и работать с пониженными температурами теплоносителя, в отличие от традиционных радиаторных систем теплоотдача которых снижается в 4 – 5 раз при понижении температуры теплоносителя до 35 – 40 °С.

Выводы.

1. Послеремонтные испытания тепловозов производятся на нагрузочных жидкостных реостатах, сопротивление которых служит своеобразным «кипятильником» для воды, находящейся в баке. За время проведения испытаний тратится количество энергии эквивалентное теплу, необходимому для отопления помещения. По ряду причин утилизации энергии, выделяемой при проведении реостатных испытаний, уделяется недостаточно внимания, несмотря на то, что вопрос утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) на производстве с каждым годом становится все актуальнее.

2. Целесообразно горячую воду, получаемую при нагрузочных испытаниях тепловозов, пропускать через промышленный теплообменник для нагрева воды низкотемпературной системы отопления станции реостатных испытаний. В настоящее время промышленностью выпускаются достаточно

эффективные теплообменники, использование которых на станциях реостатных испытаний позволило бы сократить расход тепла деповских котельных.

#### Список литературы

1. Пат. на пол. модель 103915 Российская Федерация, G 01 M15 00. Жидкостный нагрузочный реостат [Текст] / Л.А. Ежевская, Н.С. Пестрякова, Д.Н. Григорович, и др. (Россия); заявитель и патентообладатель ОАО «ВНИИЖТ». - №2010145235/28; Дата регистр. 08.11.2010.

2. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 г и на перспективу до 2030 года. — Режим доступа: <http://ekoproekt-energo.ru/jhc-30> — Загл. с экрана.

3. Выбор схемы утилизации тепла отработавших газов поршневых ДВС и оценка полезного теплоиспользования в составе когенерационной установки [Текст] / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов и др. // Омский научный вестник – Омск. –2015. – №1. – С. 114 – 119.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

##### **Глухова Мария Викторовна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: Marta\_omgups@mail.ru

##### **Тарута Виктор Федорович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы» ОмГУПС.  
E-mail: TarutaVF@omgups.ru

##### **Тарута Дмитрий Викторович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория механизмов и детали машин» ОмГУПС.  
E-mail: TarutaDV@omgups.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

##### **Glukhova Maria Viktorovna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor of "Power Engineering" OSTU.  
E-mail: Marta\_omgups@mail.ru

##### **Taruta Viktor Fedorovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Locomotives OSTU.  
E-mail: TarutaVF@omgups.ru

##### **Taruta Dmitry Viktorovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor of Theory of Mechanisms and Machinery Details OSTU.  
E-mail: TarutaDV@omgups.ru

**И. И. Кадцын, А. П. Стариков, В. Р. Ведрученко**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ В НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*В статье рассматривается актуальность использования автономного геотермального отопления на территориях с высокой стесненностью, плотной застройкой в крупных промышленно-урбанизированных городских территориях. Проанализированы виды низкотемпературных источников тепла и нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Изложены и изображены наиболее распространённые грунтовые коллекторы, показаны способы применения геотермального отопления в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений.*

*Ключевые слова: низкопотенциальная энергия, тепловой зонд, геотермальный коллектор, тепловая энергия.*

**Ivan I. Kadtsyn, Alexander P. Starikov, Victor R. Vedruchenko**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **INNOVATIVE METHODS OF APPLICATION GEOTHERMAL HEATING IN THE BEARING CONSTRUCTION STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS**

*In article the relevance of use of autonomous geothermal heating in territories with high constraint, dense building in the large industrial urbanized urban areas is considered. Types of low-temperature sources of heat and nonconventional renewables are analysed. The most widespread soil collectors are stated and represented, methods of application of geothermal heating in the bearing building constructions of buildings and constructions are shown.*

*Key words: low-potential energy, thermal probe, geothermal collector, thermal energy.*

Термальная энергетика – один из альтернативных источников тепловой энергии, электроэнергетической отрасли.

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития энергетики в России являются энергосбережение и эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Потребность в высокой отраслевой производительности вызвана необходимостью снижения эксплуатационных затрат на отопление зданий и сооружений, уменьшение истощения природных ресурсов экосистем (природного капитала), обострение экологических проблем в крупных промышленно-урбанизированных городских территориях [3].

Высокая конкуренция, соперничество в бизнес среде заставляет собственников предприятий искать варианты снижения различных издержек влияющих на себестоимость изготавливаемой продукции. Эксплуатационные затраты (отопление, электроснабжение, водоснабжение и водоотведение) зданий и сооружений являются одним из основных расходов предпринимателей. Внедрение современных материалов и технологий, позволяют существенно снизить содержание (эксплуатацию) объектов капитального строительства, что, в конечном счете, существенно повышает конкурентные преимущества не только по месту нахождения бизнеса, но и далеко за пределами региона.

Промышленный и экологический курс, в настоящее время, является одним из главных стратегических направлений в государственной политике нашей страны. Таким образом, необходимы такие решения по развитию промышленности, которые будут способствовать уменьшению экологического вреда, а так же способствовать природоохранным мероприятиям при развитии (модернизации) предприятий [4].

Внедрение низкопотенциальной тепловой энергии грунта, воздуха, воды, хозяйственно-бытовых стоков, шахтных вод, промышленных сбросов и прочих ресурсов, является одним из наиболее актуальных малоиспользуемых источников тепловой энергии, преобразование которой, позволяет без изменения (реконструкции) существующей инженерной инфраструктуры, отапливать новые промышленные, административные, жилые объекты, не используя дополнительные топливно-энергетические ресурсы [1].

В качестве низкотемпературных источников тепла могут использоваться:

а) повторные (побочные) энергетические ресурсы:

- тепло вентиляционных выбросов;
- тепло канализационных стоков;
- сбрасываемая теплота технологических процессов (пар, вода) и прочее.

б) нетрадиционные возобновляемые источники энергии:

- тепло окружающего воздуха;
- тепло грунтовых и геотермальных вод;
- теплота водоемов и природных водных потоков;
- теплота солнечной энергии и т.п.;
- теплота поверхностных и более глубоких слоев грунта.

В частности тепловой насос увеличивает температуру нагретого теплоносителя до необходимого комфортного уровня температуры. Существенным преимуществом применения геотермальной энергии является возможность использования системы в качестве отопления, в системе кондиционирования помещений всех типов зданий.

Высокий рост популярности тепловые насосы получили во многом из-за того, что тепловая энергия получается непосредственно на месте установки оборудования, а так же является автономной. При высокой экологичности обладает высокой степенью пожаро- и взрывобезопасности, т.к. отсутствуют процессы горения топлива и выбросы продуктов сгорания. Оборудование не требует прокладки топливных (газовых) магистралей и систем дымоудаления.

В сравнении с централизованными системами теплоснабжения, не требуются протяженные тепловые сети до потребителя, источник теплоснабжения располагается непосредственно на месте или близком расположении от потребителя.

В настоящее время в мире работает более 30 млн. тепловых насосов различной мощности. В США более 30% жилых зданий оборудованы тепловыми насосами (совмещенные системы отопления и кондиционирования). В Швеции за последние годы введены в действие более 100 тепловых насосов (мощность от 5 до 80 МВт). Высокое развитие и распространение геотермальная энергетика получила в большей степени в странах, в которых имеется высокое количество горячих источников, а так же отсутствие или дефицит горючих полезных ископаемых. На основании имеющихся статистических данных на 2015г, самое большое распространение, опыт использования и эксплуатации, рассматриваемых систем, получили импортными компании США, Филиппин, Индонезии, Италии, Новой Зеландии, Исландии. В вышеуказанных странах, горячие источники используют не только для отопления, но и для выработки электроэнергии с помощью геотермальных станций. Более того, освоены и внедрены методы использования грунтов с

горячими породами, в которых отсутствуют межпластовые подземные воды. В представленном варианте технологии, предусматривается закачивание воды в межпластовые слои грунта с последующим отбором нагретого носителя.

В нашей стране, первым существенным техническим прогрессом широкомасштабного развития тепловых насосов, были 50-60 годы, времена развития советского машиностроения, холодильной техники и строительства мощных гидроэлектростанций. Распад СССР существенно повлиял на массовый спад производства почти всех типов тепловых насосов, привел к не востребованности, физическому и моральному устареванию имеющихся технологии и разработанного оборудования.

За последние годы, в нашей стране, значительно вырос интерес к теплонасосным технологиям, однако количество реализованных проектов невелико, что объясняется целым рядом климатических, социально-экономических и технологических особенностей их применения.

При реализации проектов с применением геотермального отопления, преимущественное распространение получили:

#### 1. Горизонтальные грунтовые коллекторы.

Настоящее техническое решение применяется в европейской части России, где глубина промерзания грунта является минимальной. Конструктивное решение является наиболее дешевым и наиболее быстрым способом выполнения строительного-монтажных работ.



Рис. 1. Общий вид горизонтального грунтового коллектора

## 2. Вертикальные грунтовые коллекторы.

Текущее решение является сравнительно дорогим способом использования тепловой энергии грунта, вследствие необходимости выполнения геологической разведки территории, использования бурового оборудования, а так же устройства обсадных труб на песчаных, просадочных грунтах. Вертикальные грунтовые коллекторы, с целью экономии площади, занимают достаточно малую площадь территории. Применение вертикальных коллекторов, возможно, чуть ли не во всех типах грунтов. Существенным преимуществом в сравнении с вертикальным решением, является наличие локальных районов с существованием в грунте термальных водяных источников (для Омской области  $\sim 24 - 65^{\circ}\text{C}$ ), что позволяет существенно повысить эффективность использования грунтовых коллекторов.

Типы вертикальных грунтовых коллекторов:

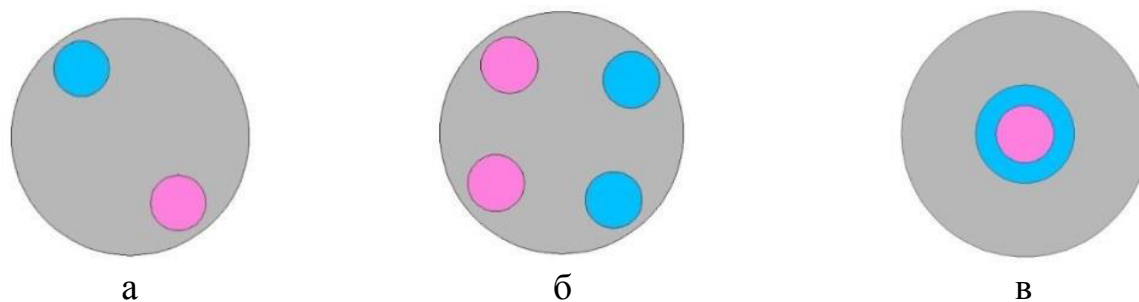


Рис. 2. Примеры вертикальных коллекторов в поперечном разрезе:  
а – одиночный U – образного коллектор; б – сдвоенный U – образный коллектор; в – коаксиальный коллектор

Высокая стесненность, плотность застройки в крупных промышленно-урбанизированных городских территориях, отсутствие ресурсов подключения к существующим инженерным сетям обеспечения, заставляют искать принципиально новые современные способы автономного обеспечения инженерными сетями проектируемых зданий и сооружений.

Виды инновационных способов применения геотермального отопления в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений:

### 1. Энергетические буронабивные сваи.

Устройство конструкции выполняется по методу заливки бетонной смеси в установленный металлический каркас с закрепленными тепловым зондами, в подготовленную буровую скважину.

2. Фундаментные стены и стены подвала. Тепловые зонды, в настоящей конструкции, закрепляются в центральной части металлического каркаса, с последующей заливкой бетонной смеси. Применение текущего решения выполняется в глубоко заглубленных зданиях и сооружениях (не менее 6 м).

3. Железобетонные канализационные насосные станции.

Текущий вариант используется на промышленных предприятиях, имеющих в эксплуатации КНС. Благодаря высокой температуре неочищенных сточных вод (16-24°C), представленное решение имеет высокую актуальность в реализации проектов реконструкции или нового строительства



Рис. 3. Общий вид каркаса сваи с тепловыми зондами



Рис. 4. Общий вид фундаментной стены с тепловыми зондами

Выводы: в настоящее время, в связи с истощением природных ископаемых, существенным ростом цен энергетических ресурсов, а так же дороговизной подключения к существующим тепловым сетям, необходимости строительства сетей подключения доказывают высокую актуальность применения современных нетрадиционных систем отопления для объектов капитального строительства.

Использование автономного геотермального отопления, на территориях с высокой стесненностью, плотной застройкой в крупных промышленно-урбанизированных городских территориях, позволяет существенно снизить затраты необходимые на новых (реконструируемых) объектах строительства, на прямую снижая стоимость строительства, за счет применения тепловых зондов в несущих строительных конструкциях.

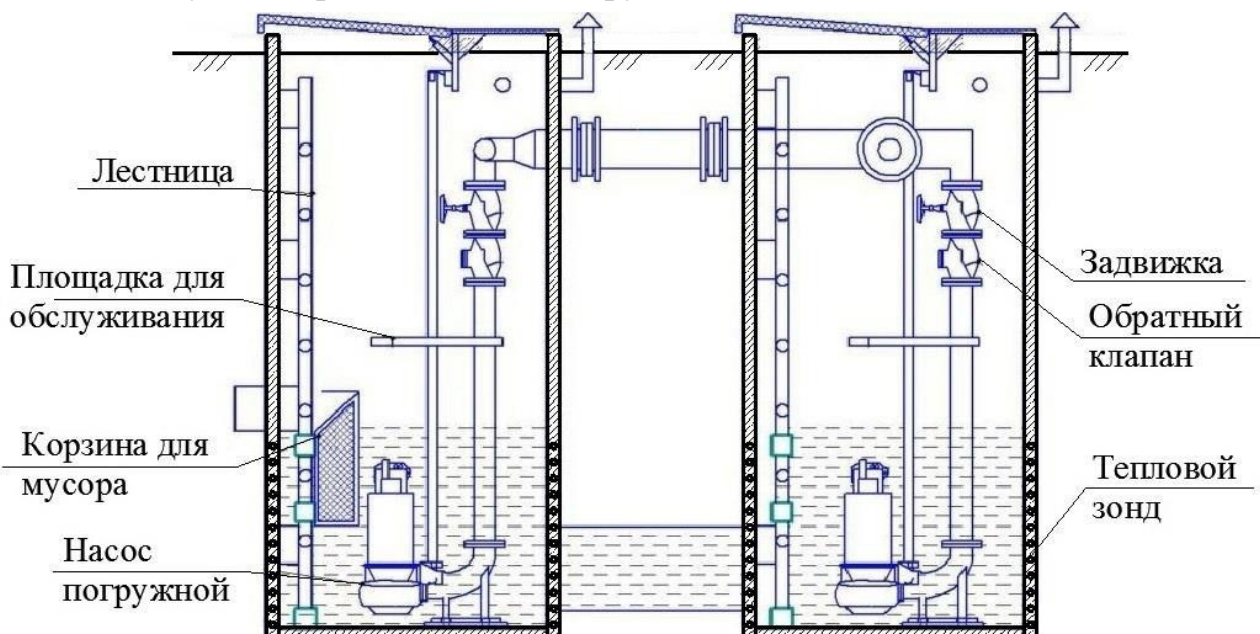


Рис. 5. Типовая железобетонная канализационная насосная станция с устройством тепловых зондов

#### Список литературы

1. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Г. П. Васильев, Л. В. Хрустачев и др. // Правительство Москвы. Москомархитектура. – ГУП «НИАЦ», 2001 г. – с. 6.
2. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре // М.: ООО «Издательство «Перо», 2017. – с. 6.

3. Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (ред. От 27.12.2018) «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изм. и доп., вступившие в силу с 16.01.2019) – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978), Москва, 2009, с. 45;

4. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года». – Москва, 2009. – с. 104. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_94054](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054),

5. Васильев, Г. П. Тепло-хладоснабжение зданий и сооружений с использованием низко-потенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли / Г. П. Васильев. – М.: издательский дом «Граница», 2006. – с. 6.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Кадцын Иван Ильич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: [kii55@bk.ru](mailto:kii55@bk.ru)

##### **Стариков Александр Петрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
Телефон: +7 (3812) 31-06-23  
E-mail: [StarikovAP@omgups.ru](mailto:StarikovAP@omgups.ru)

##### **Ведрученко Виктор Родионович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Профессор, доктор технических наук кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: [vedruchenkovr@mail.ru](mailto:vedruchenkovr@mail.ru)

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Kadtsyn Ivan Ilyich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
Omsk, 35, Marx av., Omsk, 644046 Russia.  
Post-graduate student of the department «Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: [kii55@bk.ru](mailto:kii55@bk.ru)

##### **Starikov Alexander Petrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, associate Professor, head of the department «Heat power engineering» OSTU.  
Phone: +7 (3812) 31-06-23  
E-mail: [StarikovAP@omgups.ru](mailto:StarikovAP@omgups.ru)

##### **Vedruchenko Victor Rodionovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Doctor of technical Sciences, Professor in the Department «Heat power engineering» OSTU.  
E-mail: [vedruchenkovr@mail.ru](mailto:vedruchenkovr@mail.ru)

**О. А. Стариков, Е. М. Резанов**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

*Показан способ восстановления рабочих характеристик центробежного насоса, с целью повышения энергетической эффективности их работы. Рассмотрен эксперимент нанесения фторопластового покрытия с целью формирования гидрофобных поверхностей.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, централизованное теплоснабжение, фторопластовое покрытие, энергосбережение.*

**Oleg A. Starikov, Evgeniy M. Rezanov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **TO THE ISSUE OF INCREASE IN OVERALL PERFORMANCE CENTRIFUGAL PUMPS**

*The way of restoration of performance data of the centrifugal pump, for the purpose of increase in power efficiency of their work is shown. The experiment of drawing a fluoroplastovy covering for the purpose of formation of hydrophobic surfaces is considered*

*Key words: energy efficiency, the centralized heat supply, a fluoroplastovy covering, energy saving.*

Воздействие на обеспечение потребителей тепловой и электрической энергией оказывает бесперебойная, высокоэффективная работа насосных агрегатов, составляющих важную часть оборудования теплоэнергетических объектов. Повышение надежности эксплуатации насосного оборудования считается важным вопросом и требует особого внимания эксплуатирующих организаций.

В среднем на привод насосных агрегатов затрачивается до 10 % вырабатываемой электрической энергии. В итоговой оценке расхода на

обслуживание насосов размер оплаты электричества на привод, для разных направлений промышленности, может достигать более 85 %, поэтому задача повышения коэффициента полезного действия насосного оборудования является важным и перспективным.

В настоящее время главное направление политики в сфере улучшения функционирования гидравлических концепций связано с модернизацией используемого насосного оборудования и повышением согласованности применяемых насосов с гидравлической сетью. Согласно сведениям различных источников [1 – 3], примерно до 60 % насосных станций, эксплуатирующихся в мире, работают с коэффициентом полезного действия 10 – 40%, что обуславливает обширный спектр рабочей области, в которой должны работать насосные установки. Необходимо выделить то, что эта сфера значительно различается от оптимальной рабочей зоны, в которую насос был спроектирован. На втором месте обстоятельство, связанное с неосуществимостью регулировки необходимого расхода экономичными методами то, что в результате также приводит к огромным утратам энергии и внушительному уменьшению располагаемого ресурса гидравлических машин.

Указанные условия демонстрируют актуальность исследования способов, способных с высокой достоверностью устанавливать настоящий ресурс насосного аппарата с учетом отличительных черт эксплуатации определенных технологических циклов.

Определение более результативных путей увеличения надежности эксплуатации насосного оборудования в первых стадиях обязано базироваться на итогах анализа повреждаемости насосного оборудования.

Изучение персоналом теплоэлектростанций статистических сведений согласно дефектам насосов может предстать одним из начальных мероприятий в направлении увеличения прочности работы энергообъектов. Исследование данной информации дает возможность обнаружить менее прочные участки и элемента насосного оснащения, на которые действуют самые большие постоянные и динамические нагрузки.

На рис. 1 представлен статистический анализ повреждаемости насосного оборудования [1]. Было проанализировано больше 1100 единиц насосов, работающих в 34 теплоэнергетических объектах основной части Российской Федерации. За двухгодичный промежуток в данных объектах были зафиксированы дефекты отдельных компонентов у 750 насосов, что является

68,4% от общего числа рассматриваемых насосов. Дефекты затрагивали почти абсолютно все ключевые компоненты насосных агрегатов. В отдельные категории были выделены дефекты корпуса, подшипников, рабочих колес, вала и уплотнений.

На рис. 2 приведена диаграмма, на которой представлено долевое распределение дефектов согласно составляющим системы насосов [1].

Устранение причин, производящих данные дефекты, одна из основных задач персонала теплоэнергетического объекта, нацеленная на сокращение аварийности насосного оборудования и увеличения прочности его работы.

Оценка работоспособности насосного агрегата нужна для принятия аргументированных заключений согласно ряду задач, образующихся в ходе эксплуатации. Состояние насоса в любой период времени характеризуется располагаемым ресурсом, обеспечивающим прочную стабильную службу насосного аппарата вплоть до капитальных ремонтных работ, в ходе которых его ключевые технические характеристики и свойства остаются в установленных допусков.

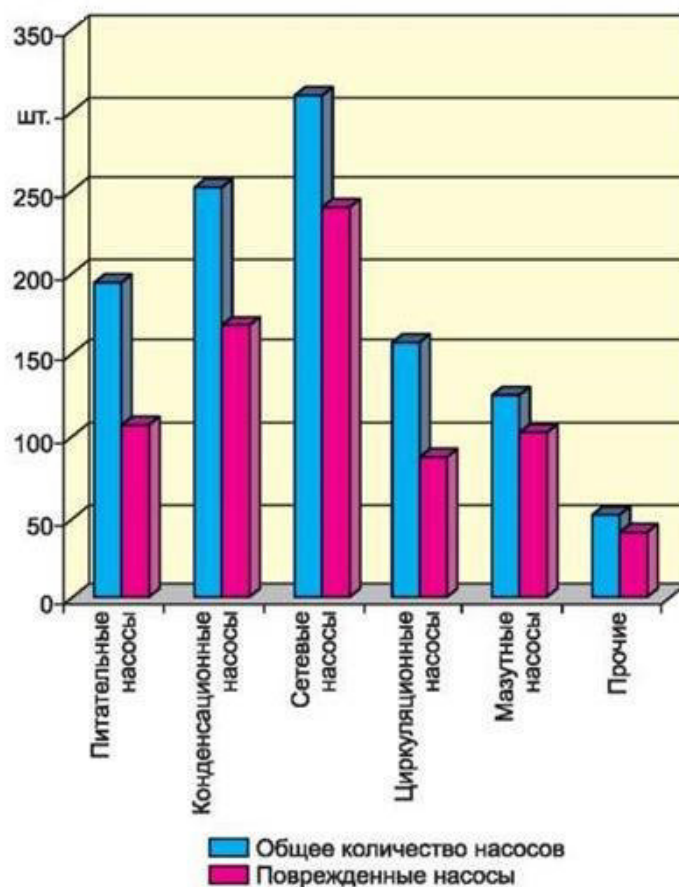


Рис. 1. Статистика подтверждений насосного оборудования на 34 теплоэнергетических объектах центральной части РФ

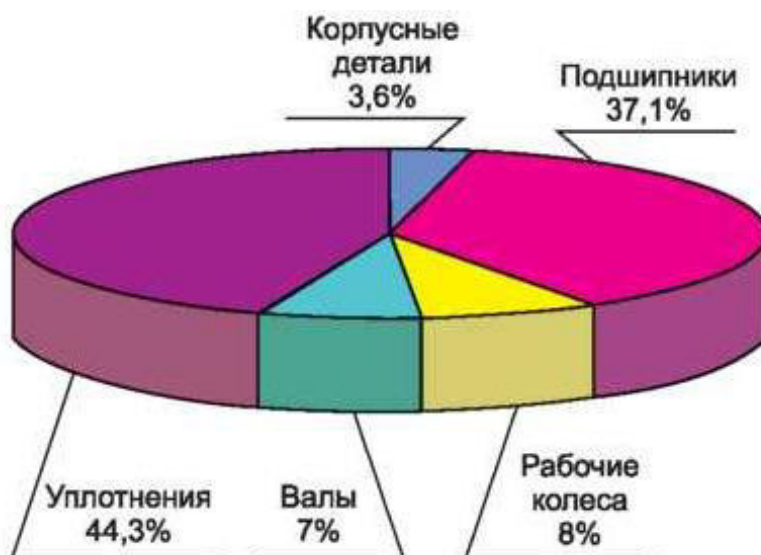


Рис. 2. Диаграмма долевого распределения дефектов согласно составляющим системы насосов

Анализ работоспособности насосных агрегатов можно реализовать путем формирования физико-математических моделей, которые совершаются в проточной части и в ключевых узлах насоса и принимают во внимание влияние характеристик насоса и определенного технологического цикла, в составе которого они работают. Главной задачей данного анализа является обнаружение ограничений и возможных воздействий на изучаемый насосный агрегат, установление настоящего ресурса с учетом тех повышенных нагрузок, которым он подвергается в нештатных режимах эксплуатации.

Одной из задач повышения эффективности работы насосных агрегатов считается способ модернизации поверхности проточных элементов центробежных насосов на базе модификации многофункциональных поверхностей проточных элементов рабочих колес (РК) насосов. Изменение качеств поверхности проточной части насоса гарантирует усовершенствование рабочих характеристик насосного агрегата с помощью гидрофобных покрытий.

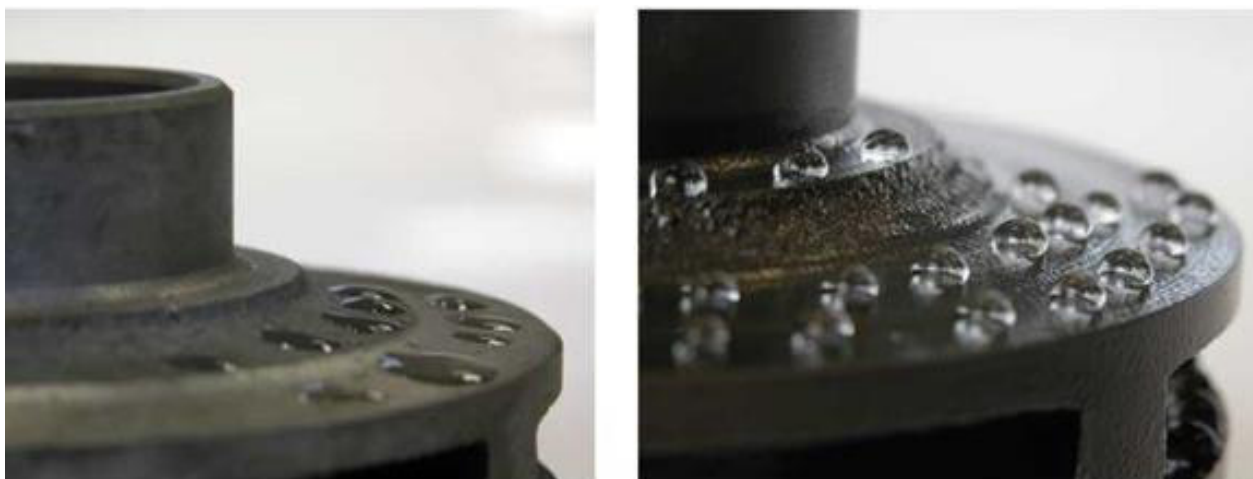
Реализация подобного метода возможна на базе применения тефлонов. Тефлонирования плоскостей результативно осуществляется на базе применения фторопласта-4, являющегося уникальным материалом, обладающим химической стойкостью почти ко всем агрессивным веществам [4].

Экспериментальные изучения по применению фторопластовых покрытий с целью формирования гидрофобных поверхностей в РК центробежных насосов исполнялись на энерго-кавитационном стенде МЭИ на образце исследований

насоса КМ 65-50-160а [4].

На рис. 3 представлен внешний вид исходного и модернизированного рабочего колеса исследуемого насоса КМ 65-50-160а.

Результаты энергетических опытов по изучению влияния гидрофобного фторопластового покрытия на поверхностях РК показывают: увеличение напорной характеристики насоса после напыления гидрофобного покрытия, что поясняется уменьшением потерь гидравлического трения, ведущих к увеличению напора; обеспечение работоспособности насоса, т.е. выполнение требуемого закона  $H=f(Q)$ ; уменьшение потребляемой мощности примерно на 90 Вт, в основном в рабочей зоне, что объясняется снижением требуемой мощности на компенсацию гидравлических потерь (потери на трение и вихреобразование); повышение КПД насоса на 1,5-2% в рабочей зоне работы.



а

б

Рис. 3. Внешний вид исходного и модернизированного рабочего колеса исследуемого насоса КМ 65-50-160а:

а) исходный вид; б) модернизированный вид

На рис. 4 представлена напорная характеристика насоса КМ 65-50-160а с исходным и модернизированным РК, а на рис. 5 приведена сравнительная характеристика КПД (для рабочей зоны) исследуемого насоса [4].

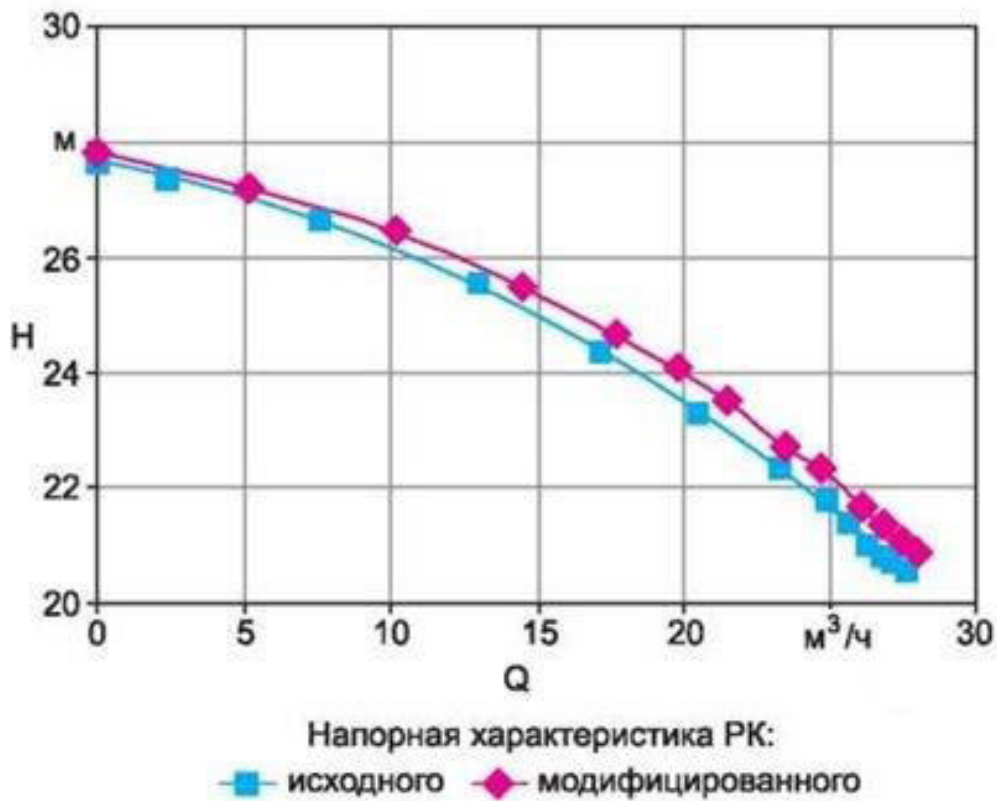


Рис. 4. Напорная характеристика насоса КМ 65-50-160а с исходным и модернизированным колесом

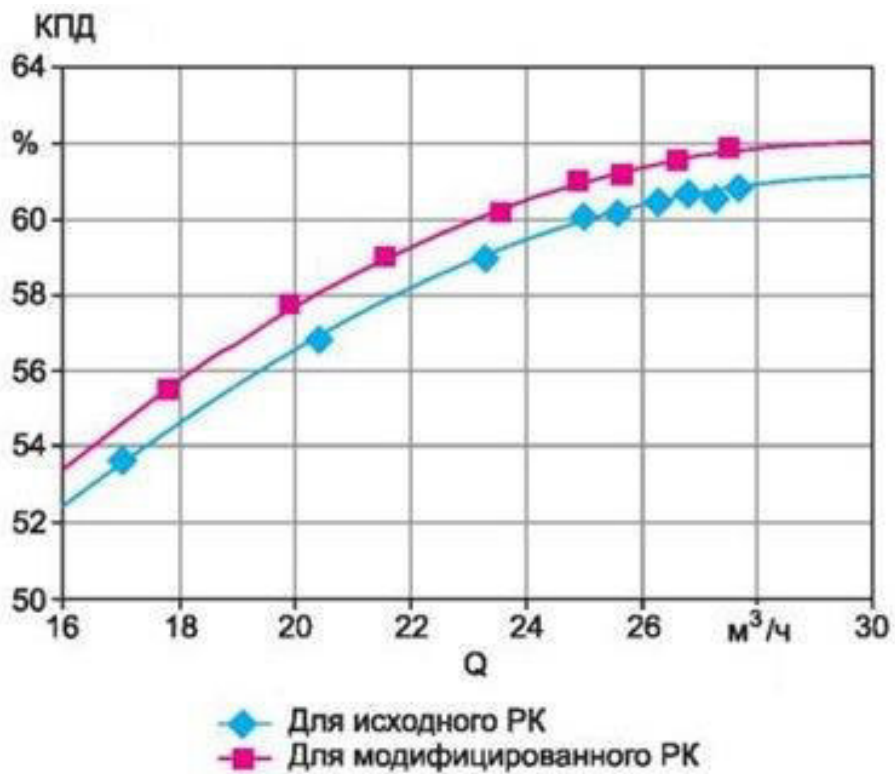


Рис. 5. Характеристика КПД насоса КМ 65-50-160а до и после создания фторопластового гидрофобного покрытия на рабочем колесе

По результатам опытов можно сделать вывод о том, что модернизация центробежного насоса КМ 65-50-160а на основе создания гидрофобного фторопластового покрытия на поверхностях РК привела к повышению энергоэффективности при обеспечении сохранения работоспособности насоса. Такое покрытие в то же время защищает поверхность РК от коррозии и от образования отложений, что обеспечивается отсутствием контакта перекачиваемой среды и металла, из которого изготовлена проточная часть. Кроме того, покрытие обладает повышенной прочностью и химической стойкостью.

Использование гидрофобного фторопластового покрытия – основное мероприятие позволяющее повысить коэффициент полезного действия насоса, снизить потери на трение и вихреобразования. Однако при разной стоимости материалов фторопласта, производимых работ по гидрофобизации, тарифах на электрическую энергию, могут увеличиваться приведенные дисконтированные затраты на эксплуатирующее насосное оборудование и потребляемые энергетические ресурсы. Поэтому целесообразно получить оправданную (оптимальную) толщину гидрофобного покрытия.

Результаты проведенного анализа показывают значимость интегральной оценки работы гидросистем в целом, эффективность применения гидрофобного фторопластового покрытия для центробежных насосов и определение её оптимальной толщины.

#### Список литературы

1. Волков, А. В. Анализ повреждений насосного оборудования на тепловых энергетических объектах / А. В. Волков, С. Н. Панкратов // Тяжелое машиностроение. – 2005. – № 10. – С. 2 – 6.

2. Доброхотов, В. И. К вопросу об эффективности удаления отложений, санации и защиты от коррозии поверхностей пароводяных трактов оборудования ТЭС / В. И. Доброхотов, В. А. Рыженков, А. В. Куршаков // Теплоэнергетика. – 2008. – № 1. – С. 44 – 49.

3. Волков, А. В. Экспериментальные исследования эффекта гидрофобизации твердых поверхностей и элементов центробежных насосов / А. В. Волков, А. И. Давыдов, Г. П. Хованов // Промышленная энергетика. – 2010. – №11. С. 41 – 44.

4. Хованов, Г. П. Исследование влияния гидрофобности поверхностей элементов проточной части на эксплуатационные качества и отдельные виды потерь центробежных насосов: дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Москва, 2012. – 350 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Стариков Олег Александрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Магистр кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: omskstar2003@mail.ru

##### **Резанов Евгений Михайлович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: rezanove1@mail.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Starikov Oleg Aleksandrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of department "Heat Power Engineering" OSTU.

E-mail: omskstar2003@mail.ru

##### **Rezanov Evgeniy Mikhailovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Heat Power Engineering" OSTU.

E-mail: rezanove1@mail.ru

УДК 665.75/76(031)

#### **Е. А. Рацин, П. И. Каргапольцев**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),

г. Омск, Российская Федерация

### **ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ СБЕРЕЖЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗА**

*На современную систему газоснабжения ложится важная задача – обеспечение бесперебойной, надежной подачи газа потребителям, не взирая на различные внешние воздействия. На протяжении многих лет природный газ является наиболее высококачественным топливом. Сложился четкий стереотип: газ в «трубе» всегда есть и так будет продолжаться долго. Как следствие, становится весьма актуальной разработка системы газоснабжения потребителей в условиях ограничения поставок газа.*

*Ключевые слова: обессоливание, регенерация, фильтрация, щелочь, реагент.*

**Evgeniy A. Racin, Pavel I. Kargapoltsev**

Omsk State Transport University (OmGUPS), Omsk, Russian Federation

## **CHALLENGES AND TASKS OF RESERVE FUEL SAVING WHEN USING GAS**

*The modern gas supply system has an important task - to ensure uninterrupted, reliable gas supply to consumers, regardless of various external influences. For many years, natural gas has been the highest quality fuel. There was a clear stereotype: there is always gas in the "pipe" and this will continue for a long time. As a result, it becomes very important to develop a gas supply system for consumers in conditions of limited gas supplies.*

*Key words: desalination, regeneration, filtration, alkali, reagent.*

Постепенно наступает то долгожданное время, когда уже не требуется никого убеждать, что энергосбережение жизненно необходимо и выгодно всем. Рынок с разных сторон подталкивает промышленные предприятия к внедрению энергоэффективных систем и технологий. Рост цен на энергоносители, борьба за снижение себестоимости продукции и услуг заставили многих руководителей и владельцев предприятий обратить внимание на проблему снижения затрат, повышения надежности и качества энергоснабжения. Однако вне зоны пристального внимания компаний, внедряющих энергоэффективные проекты, остается вопрос резервного топлива.

Под резервным топливным хозяйством понимается комплекс оборудования и устройств, предназначенных для хранения, подачи и использования топлива при ограничении или прекращении подачи основного топлива.

Одним из наиболее сложных вопросов газоснабжения промышленных предприятий и электростанций, от решения которого в значительной мере зависит степень экономичности газификации, является проблема надежности топливоснабжения, в первую очередь наличия резервного топливного хозяйства. Как правило, все или почти все переводимые на газовое топливо предприятия сохраняют существовавшее до этого топливное хозяйство в качестве резервного. В проектах вновь строящихся газифицированных предприятий также в большинстве случаев предусматривается возможность перехода на сжигание резервного топлива и создания его запасов.

Наличие на предприятии двух самостоятельных топливных хозяйств

значительно снижает эффективность использования газа. Сохранение на предприятиях, переводимых на газообразное топливо, существующих топливных хозяйств в качестве резервных вызывает потребность в дополнительных эксплуатационных расходах, а также дополнительных собственных оборотных средствах на создание минимального постоянно поддерживаемого запаса резервного топлива.

Создание резервов топлива на газифицированных предприятиях преследует обычно двоякую цель обеспечить бесперебойность топливоснабжения предприятия при авариях на подводящих газ трубопроводах и создать возможность ограничения, а иногда и полного прекращения потребления газа в периоды кратковременного резко повышенного его расхода на отопительные или другие первоочередные нужды в наиболее холодные зимние дни. Пиковые резервы топлива одновременно выполняют и роль аварийных.

В большинстве случаев затраты на строительство резервного топливного хозяйства для предприятий, использующих тепловую энергию или непосредственно топливо на технологические процессы, сопоставимы с убытками от 3-5 дней простоя. Срок службы резервного топливного хозяйства не один десяток лет. Высока вероятность, что за это время правильно принятое решение о резервировании топлива окупится не один раз.

Сложился чёткий стереотип: газ в «трубе» всегда есть и так будет продолжаться долго. Но, если просмотреть статистику аварий на газопроводах, трудно не увидеть, что износ и магистральных газопроводов, и распределительных сетей крайне высок, а нагрузки по транспортировке газа постоянно возрастают. О высокой вероятности возможных аварий на газовых сетях сегодня говорят уже публично. К сожалению, обычно это происходит в связи с очередной аварией.

В Омской области всего одна нитка газопровода высокого давления. В случае аварии на газопроводе придется выселять весь город из благоустроенного жилья. Сейчас эта нитка уходит в Новосибирскую область, и она же возвращается к границам Омской.

Каждый год в период сильных морозов омские политики и руководители региона поднимают вопрос о переводе омской энергосистемы на природный газ. Экологическая чистота газообразного топлива очевидна. Это, прежде всего, отсутствие загрязнения при транспортировке и разгрузке, а также существенно

меньший выброс вредных веществ при сжигании. Допустим, мы нашли немалые деньги и «воплотили мечту в жизнь», перевели все ТЭЦ на газ. Все убытки омской энергосистемы сегодня покрывает ТЭЦ-5. Это базовая станция, она дает тепло для более чем 400 тысяч жителей Омска, вырабатывает 55 процентов всей электроэнергии и, по сути, содержит всю омскую энергосистему. Сегодня на ней сжигается до 12 тысяч тонн угля в сутки. Газа нужно будет обеспечить 6 миллиардов кубов. Имеющийся трубопровод столько просто физически не пропустит. Поэтому нужно еще закольцевать вторую нитку. Кроме того, мы должны будем иметь около 30-40 тысяч тонн мазута в качестве резервного топлива.

На современную систему газоснабжения ложится важная задача – обеспечение бесперебойной, надежной подачи газа потребителям, не взирая на различные внешние воздействия. На протяжении многих лет природный газ является наиболее высококачественным топливом. Как следствие, становится весьма актуальной разработка системы газоснабжения потребителей в условиях ограничения поставок газа.

Возникает сложная задача: требуется на научной основе оценить, как скажется дефицит газового топлива на потребителе, а также предусмотреть такую систему газоснабжения, при которой будет рационально перераспределено имеющееся топливо.

Таким образом мы пришли к выводу, что необходимо организовывать топливные резервы. Необходимо иметь целое обособленное хозяйство: резервуары или склады, участки подготовки и удаления твердого топлива, специальные подъездные пути, возникают дополнительные требования к разработке необходимых мероприятий по сокращению загрязнения атмосферного воздуха. Хотя это является весьма капиталоемким мероприятием, оно является довольно эффективным в борьбе с нарушением поставок газа.

#### Список литературы

1. Берхман, Е. И. Экономика систем газоснабжения / Е. И. Берхман // Изд. 2ое, перераб. и доп. Л., «Недра. – 1975. – 375 с.
2. Широ́в, М. С. Резервное топливное хозяйство как один из методов повышения эффективности работы котельных / М. С. Широ́в, Р. А. Шершенов, С. А. Мальцев // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2017. – № 2-2. – С. 135 – 140.

3. Маркин, В. В. Проблемы резервного топлива / В. В. Маркин // Доклад на второй ежегодной научно-практической конференции «Системы теплоснабжения. Современные решения», 16-18 мая 2006 г.

4. Енжаева, Т. В. Снабжение потребителей газовым топливом в условиях ограничения поставок / Т. В. Енжаева // Секция 5: Фундаментальные и прикладные проблемы теплогидрогазодинамики трубопроводного транспорта и энергообеспечения объектов сельской и городской инфраструктуры.

5. Информационное агентство «СуперОмск», [superomsk.ru/news/59216-viktor\\_gaak\\_dlya\\_stroitelstva\\_tets\\_6\\_nujna\\_initsia/](http://superomsk.ru/news/59216-viktor_gaak_dlya_stroitelstva_tets_6_nujna_initsia/)

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Каргапольцев Павел Игоревич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: pavelomsk93@gmail.com

##### **Рацин Евгений Александрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: earatsin@mail.ru

УДК 662.994

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Kargapoltsev Pavel Igorevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Postgraduate, the department of «Heat power  
engineering», OSTU.  
E-mail: pavelomsk93@gmail.com

##### **Ratsin Evgeniy Alexandrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Post-graduate student of the department  
"Heat power engineering", OSTU.  
E-mail: earatsin@mail.ru

#### **А. С. Пулиший, Е. М. Резанов**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

### **О ПРИМЕНЕНИИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ НА ОМСКОЙ ТЭЦ-2**

*Рассмотрен вопрос реконструкции Омской ТЭЦ-2 с применением парогазовой установки и регенерацией тепловой энергии. Предложен способ расчета оптимальной температуры подогрева воздуха в регенераторе, идущего на горение топлива.*

*Ключевые слова: турбина, котёл-утилизатор, регенератор, воздух, температура.*

**Artem S. Pulishy, Evgeniy M. Rezanov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ABOUT USE OF THE COMBINED CYCLE GAS TURBINE ON THE OMSK CHPP-2**

*The question of reconstruction of the Omsk CHPP-2 with use of the combined cycle gas turbine and regeneration of thermal energy is considered. The way of calculation of optimum temperature of heating of the air in a regenerator going for fuel burning is offered.*

Key words: *turbine, copper utilizer, regenerator, air, temperature.*

Решение о строительстве Омской ТЭЦ-2 было принято в мае 1934 года, но из-за доработки проекта началось в 1937 году. Она считается старейшей тепловой электростанцией города Омска и входит в структуру российской энергетической компании Акционерное общество «Территориальная генерирующая компания № 11».

В настоящее время станция работает в режиме котельной. Вырабатываемая тепловая энергия поставляется потребителям Ленинского и Октябрьского административных округов города Омска.

Сегодня установленная тепловая мощность станции составляет 378 Гкал/час, коэффициент использования – 23% [1]. Основным топливом для котельных агрегатов является природный газ, резервным – кузнецкий уголь и растопочным – мазут.

Та как котельное оборудование Омской ТЭЦ-2 морально и физически устарело, то для повышения эффективности работы станции наиболее перспективным является применение парогазовых установок с регенерацией тепловой энергии. Работа таких установок позволяет существенно уменьшить себестоимость выпускаемой продукции, а так же повысить коэффициент использования установленной мощности.

На рис. 1 представлена предлагаемая принципиальная тепловая схема парогазовой установки с регенерацией тепловой энергии Омской ТЭЦ-2, где: Т – топливо; В – воздух; КС – камера сгорания; УГ – уходящие газы; ГТ – газовая турбина; Г – генератор; Р – регенератор; КУ – котёл-утилизатор; ДА – деаэратор атмосферный; БУ – бойлерная установка; АБ – аккумуляторный



газовой турбины парогазовой установки при температуре 520-580 °С, для подогрева воздуха после компрессорной установки – мероприятие способствующее повышению тепловой эффективности. Однако это ведет к увеличению затрат на регенератор, поэтому целесообразно получить оправданную оптимальную температуру подогрева.

Тепловой регенератор устанавливается для подогрева воздуха за газовой турбиной по отводной трубе отходящих газов [2] (рис. 2):  $\delta$  – толщина стенки теплообмена;  $m$ ;  $d_p$  – внутренний диаметр регенератора, м;  $l_p$  – длина основного теплообмена регенерации, м;  $d_r$  – внутренний диаметр отводной трубы газов, м;  $t_{в1}$ ,  $t_{в2}$  – температура воздуха на входе и выходе из регенератора, °С;  $t_{г1}$ ,  $t_{г2}$  – температура газов на входе и выходе из регенератора, °С.

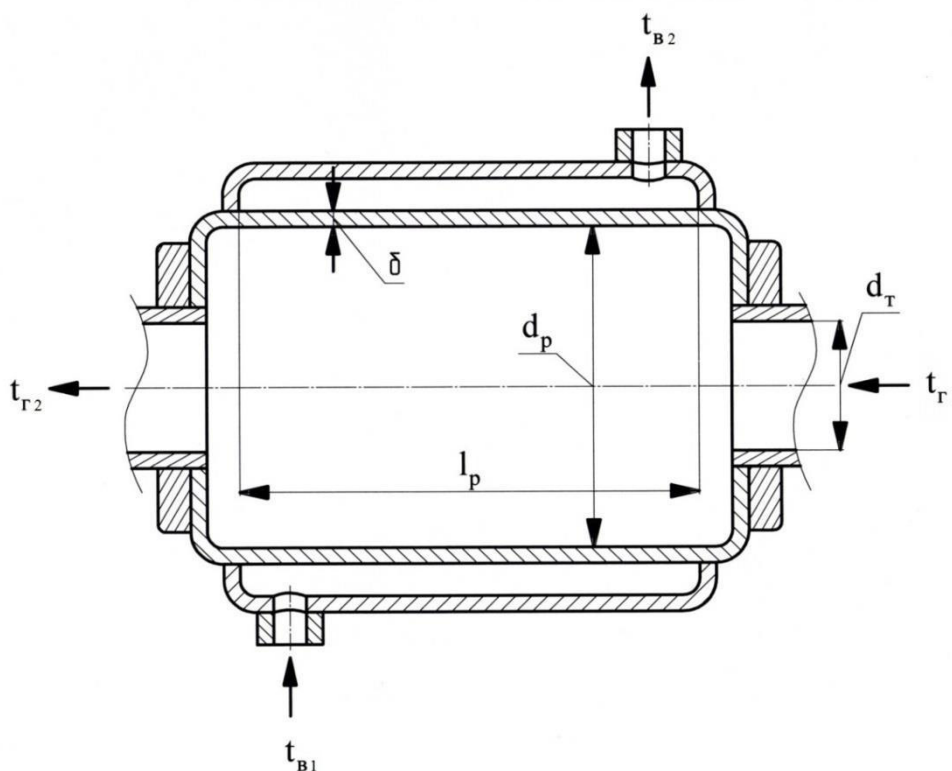


Рис. 2. Регенератор тепловой энергии

Инновации, согласно методике экономической эффективности капитальных вложений, характеризуется наименьшими затратами общественного труда, учитывает эксплуатационные расходы и капитальные вложения и определяется выражением [3]:

$$Z = C + P_n \cdot K, \quad (1)$$

где  $P_n$  – норма дисконта инвестиций, 1/год;  $K$  – капитальные вложения, руб.  
 $C$  – годовые эксплуатационные расходы, руб./год.

Эксплуатационные расходы при работе парогазовой установки складываются из двух групп затрат: энергетические, связанные с использованием топлива; неэнергетические (технологические затраты и затраты по организации производства), состоящие из прочих видов затрат, связанных с осуществлением технологического процесса выработки электрической энергии, пара.

При регенерации теплоты газов, уходящих из газовой турбины парогазовой установки, текущими расходами являются затраты на топливо, на подачу дутьевого воздуха и отвод дымовых газов за пределы агрегата. Величины отчислений на реновацию, капитальный и текущий ремонт принимаются пропорционально капитальным вложениям.

Значение оптимальной температуры подогрева воздуха перед камерой сгорания можно найти, исходя из минимума суммарных дисконтированных затрат на регенеративное устройство и топливо, при приравнении к нулю частных производных функции по оптимизируемому параметру, руб./год:

$$\frac{dZ}{dt_B^{kc}} = C_T \cdot \frac{dV}{dt_B^{kc}} + C_p \cdot \frac{dH}{dt_B^{kc}} = 0, \quad (2)$$

где  $Z$  – суммарные капитальные вложения по регенератору и сжигаемому топливу, р./год;  $t_B^{kc}$  – средняя температура подогретого воздуха, идущая на горение топлива,  $^{\circ}C$ ;  $C_T$  – годовая стоимость топлива,  $\frac{\text{руб.} \cdot \text{с}}{\text{м}^3 \cdot \text{год}}$ ;  $V$  – расход топлива,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C_p$  – годовая стоимость  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева регенератора, руб./( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ );  $H$  – поверхность нагрева регенератора,  $\text{м}^2$ .

Оптимизация температуры подогрева воздуха на выходе из регенератора, обеспечит нахождение наиболее выгодных технических решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

#### Список литературы

1. Дмитриев, В. З. Реконструкция системы централизованного теплоснабжения от теплоисточников Омского филиала ОАО «ТГК-11» / В. З. Дмитриев, Г. А. Побегаева // Новости теплоснабжения. – № 03 (139). – 2012. – С. 32 – 35.

2. Парамонов, А. М. Повышение эффективности работы термических агрегатов / А. М. Парамонов, Е. М. Резанов // Динамика систем, механизмов и машин: XII Международная IEEE научно-техническая конференция / ОмГТУ. – Омск, 2018. – Том 6. – №3. – С. 156 – 160.

3. Резанов, Е. М. Повышение технико-экономической эффективности работы термомаслогрейных котельных агрегатов / Е. М. Резанов // Омский научный вестник, 2018. – №4(160). – С. 84 – 87.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Пулиший Артем Сергеевич**

Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Магистрант кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: zhdanik20@mail.ru

##### **Резанов Евгений Михайлович**

Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС  
E-mail: rezanov1@mail.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Pulishy Artem Sergeyeovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Graduate student of «Heat power  
engineering» OSTU.  
zhdanik20@mail.ru

##### **Rezanov Evgeniy Mikhailovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
Russia, city of Omsk, 644046, Karl Marx av.,  
35.  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor of the Department "Heat Power  
Engineering" OSTU.  
E-mail: rezanov1@mail.ru

УДК 621.1: 536.7.075

#### **В. А. Горош, В. Р. Ведрученко**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

### **ВЛИЯНИЕ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ КОТЛОВ НА ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ**

*Работа посвящена анализу и определению состава вредных выбросов котельных установок и выявлению их вредного воздействия на организм человека. Рассмотрены механизмы образования оксидов азота  $NO_x$  и серы  $SO_x$ . Определены вредные выбросы, снижения которых можно добиться оптимизацией выбора и режимом работы горелочных устройств. Выбраны конструкции горелок с низким выбросом оксидов азота и возможные схемы рециркуляции дымовых газов.*

*Ключевые слова: котел, горелка, вредные выбросы, оксиды азота, оксиды серы, коэффициент избытка воздуха, рециркуляция дымовых газов.*

**Viktor A. Gorosh, Victor R. Vedruchenko**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **INFLUENCE OF THE BURNER DEVICES ON THE HARMFUL EMISSIONS OF BOILER UNITS**

*The work is dedicated to analysis and determining composition of harmful poisons of boiler units and their effect on human organism. Formation mechanisms of nitrogen and sulfur oxides are reviewed. Harmful poisons that could be reduced by optimization of selection and working mode of burner devices are determinated. Constructions of burner devices with low nitrogen oxides emission and schemes of smoke fumes recirculation are chosen.*

*Key words: boiler unit, burner device, harmful poisons, nitrogen oxides, sulfur oxides, excess air factor, smoke fumes recirculation.*

При сжигании органического топлива в атмосферу попадает множество веществ, как относительно безопасных, так и вредных. Основными компонентами, выбрасываемыми в атмосферу, являются нетоксичные водяной пар (H<sub>2</sub>O) и углекислый газ (CO<sub>2</sub>), а также оксиды азота и серы, угарный газ (CO), недогоревшие углеводороды и другие продукты неполного сгорания, канцерогенный бензопирен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>) и соединения тяжелых металлов, а также сажа. [5]

Горелочные устройства, их компоновка и режим работы оказывают существенное влияние на выбросы NO<sub>x</sub> и SO<sub>x</sub>[1-4].

Известны три основных схемы образования оксидов азота в топках котельных установок. Первый, называемый “тепловым” или “высокотемпературным”, был открыт академиком Я. Б. Зельдовичем в середине 1940-х годов [1, 2]. Он является основным механизмом образования NO<sub>x</sub> при горении. Реакции протекают в 2 стадии:



Второй механизм называется “быстрым” и связан с реакцией молекулярного азота с радикалом СН, который присутствует в начальной зоне

разложения углеводородного топлива по схеме [1, 2]:



Третий механизм – образование  $NO_x$  при разложении и горении азотсодержащих компонентов топлива [1, 2].

Сера, содержащаяся в топливе, приводит к образованию сернистого  $SO_2$  и серного  $SO_3$  ангидридов. Суммарный выход  $SO_x$  зависит только от содержания в топливе серы, которая может входить в сероорганические соединения (органические сульфиды и полусульфиды, тиофен, меркаптан), в виде элементарной серы, а в газообразном топливе – еще и в виде сероводорода  $H_2S$  и сернистого ангидрида  $SO_2$  [1-5].

Возможные схемы образования оксида серы:



Часть сернистого ангидрида (1-5%) впоследствии окисляется до  $SO_3$ :



Известны несколько способов снижения вредных выбросов котельных агрегатов, которые могут быть реализованы с помощью воздействия на топочные процессы и горелочные устройства [2-4].

Сжигание топлива с малым коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ .

Сжигание топлива с малым избытком воздуха – один из самых распространенных способов снижения выбросов  $NO_x$ . График зависимости концентрации оксидов азота в дымовых газах от избытка воздуха в топке на примере котла ТГМ-94, представленный на рисунке 1, позволяет понять, что максимальные выбросы  $NO_x$  соответствуют  $\alpha = 1,1 - 1,3$ .

При более высоких значениях  $\alpha$  происходит снижение выбросов термических  $NO_x$  за счет большого количества “лишнего” воздуха, из-за чего понижается температура горения, но из-за низкой экономичности котла такие режимы работы использовать нерационально. При значениях  $\alpha < 1,1 - 1,3$  снижаются как термические, так и топливные выбросы  $NO_x$ , но растут выбросы твердых частиц, окиси углерода и канцерогенных веществ, а также увеличивается химический недожог топлива [1-4].

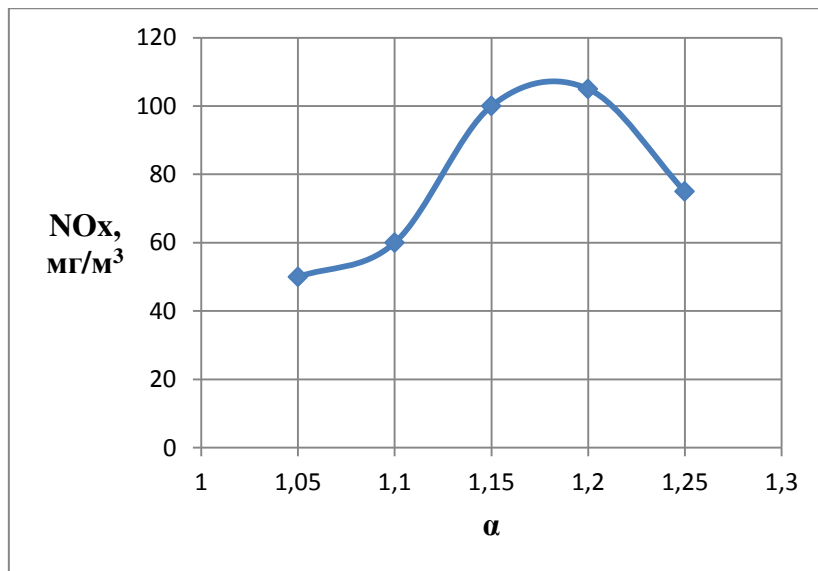


Рис. 1. Зависимость концентраций NO<sub>x</sub> от избытка воздуха

По сравнению с режимами работы при  $\alpha = 1,15 - 1,2$  уменьшение  $\alpha$  до  $1,03 - 1,05$  позволяет уменьшить выбросы NO<sub>x</sub> на 25 – 30% [1].

Это метод также эффективен для уменьшения выбросов SO<sub>x</sub>. Так, при сжигании мазута снижение коэффициента избытка воздуха в топке с 1,05 до 1,01 снижает выход оксидов серы примерно на 30% [2].

Использование горелок с низким выбросом NO<sub>x</sub>.

Принципиальная схема горелки с низким выходом NO<sub>x</sub> представлена на рис. 2.

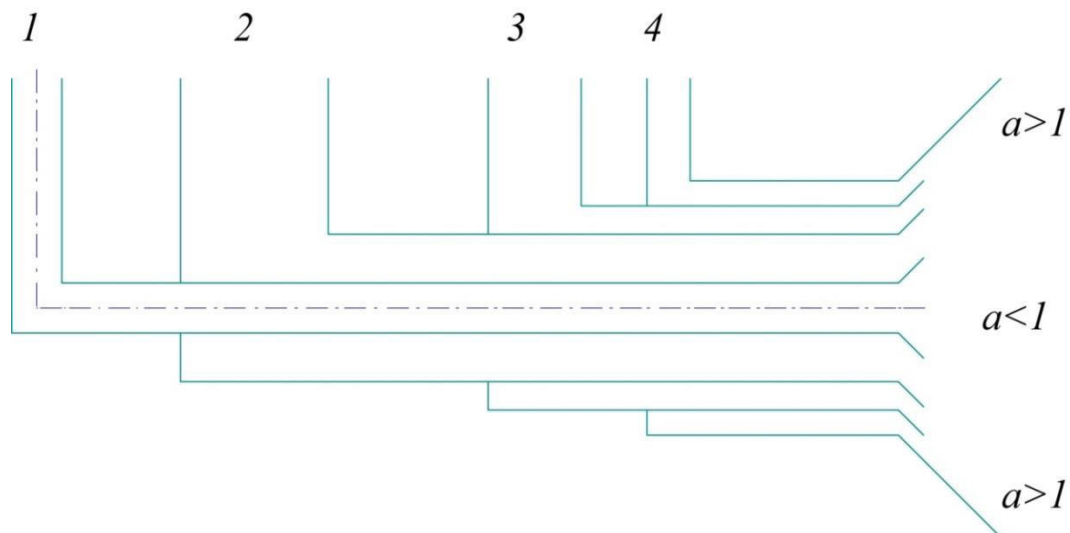


Рис. 2. Конструкция горелки с “низким” выбросом NO<sub>x</sub>:

1 – первичный воздух; 2 – угольная пыль; 3 – вторичный воздух; 4 – третичный воздух.

Горелка работает следующим образом. Через каналы 1, 2 и 3 подается количество воздуха, недостаточное для полного сгорания топлива (80 – 95%), в результате чего образуется зона “кислородного голодания”, в которой топливо сгорает не полностью. Это позволяет снизить выделение топливных  $\text{NO}_x$ . Оставшийся избыточный воздух подается через канал 4 на периферию факела, благодаря чему обеспечивается необходимая полнота сгорания топлива, но уже при меньших температурах, вследствие чего уменьшаются выбросы термических  $\text{NO}_x$ .

Применение этих горелок целесообразно, так как не ухудшаются технико-экономические показатели котла, но снижаются выбросы оксидов азота до 60% для газомазутных котлов и до 50% – для угольных. Уменьшаются на 10 – 15% выбросы бензопирена [2].

#### Ступенчатое сжигание топлива.

Метод похож на предыдущий, но двухступенчатая подача воздуха реализуется не для каждого типа горелки по отдельности, но происходит изменение коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  для каждого яруса горелок. При двухступенчатом сжигании горелки нижнего ряда сжигают топливо с недостатком воздуха, в верхний ряд подает в топку только воздух с целью дожигания продуктов сгорания. Аналогично работает схема с тремя уровнями горелок, в которой нижний ряд сжигает 70-85% топлива при  $\alpha \approx 1$ , средний – оставшуюся часть топлива при  $\alpha = 0,9 - 0,95$ , а в верхний подается избыточный воздух для дожигания. Такая схема наиболее эффективна и позволяет добиться снижения выхода  $\text{NO}_x$  на 30 – 45% [1 – 3], но наблюдается небольшое ухудшение технико-экономических показателей: повышается температура уходящих газов на 3 – 5°C; уменьшается КПД котла до 0,5%; растут расходы электроэнергии на собственные нужды [1 – 3].

#### Рециркуляция продуктов сгорания в топку.

Рециркуляция дымовых газов из зоны с температурой 300-400°C позволяет уменьшить выбросы термических  $\text{NO}_x$  в топке из-за пониженной температуры газов, за счет снижения скорости протекания цепных реакций и уменьшения концентрации реагирующих веществ [1,4,5]. На рис. 3 представлен график уменьшения выбросов  $\text{NO}_x$  от доли газов, подаваемых на рециркуляцию, для трех различных вариантов подачи газов [1,4,5].

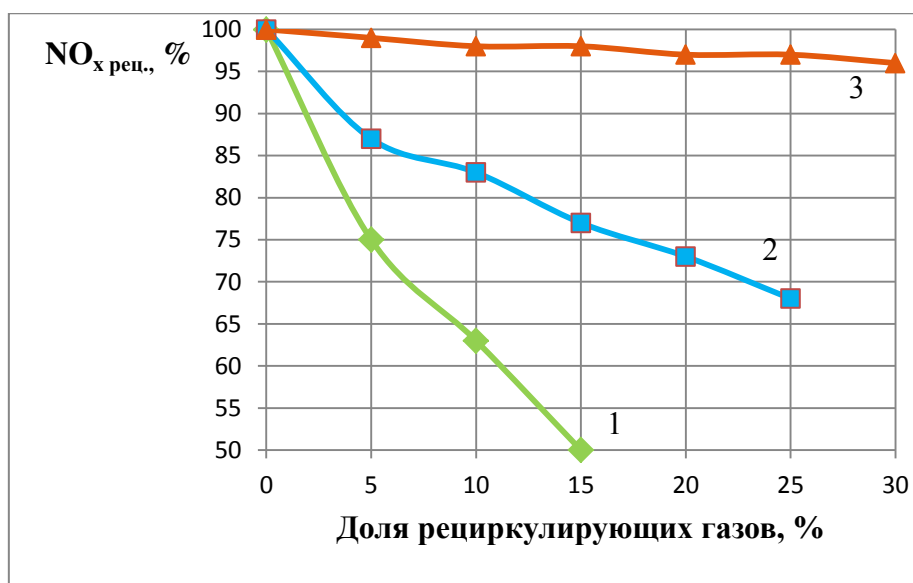


Рис. 3. Снижение образования NO<sub>x</sub> в зависимости от рециркуляции топочных газов: 1 – через отдельные каналы горелок; 2 – через шлицы под горелками; 3 – через шлицы в поду топки.

Из графика следует, что подача рециркуляционных дымовых газов в топку не приводит к серьезному уменьшению выбросов NO<sub>x</sub>; подача через шлицы под горелками более эффективна, но самый эффективный способ – подача через отдельные каналы горелок. На практике доля рециркуляционных газов не превышает 30%, так как дальнейшее ее увеличение не приводит к серьезному снижению вредных выбросов [1,4,5]. При использовании рециркуляции увеличиваются расход электроэнергии на собственные нужды из-за включения дополнительного дымососа, но КПД котла снижается на 0,6 – 1,3% [1,4,5].

Выводы:

1. Горелочные устройства оказывают существенное влияние на вредные выбросы котла, в частности, оксиды серы SO<sub>x</sub> и азота NO<sub>x</sub>.

2. Общий способ понижения выбросов – уменьшение коэффициента избытка воздуха. Отсюда следует необходимость эффективного перемешивания топливно-воздушной смеси, чтобы добиться достаточной полноты сгорания при низком α. Необходимо применение завихрителей воздуха на горелках, а также такая их компоновка, которая способствует максимальной турбулизации потока.

3. Предпочтительно использование горелок с низким выбросом NO<sub>x</sub> (двухступенчатым горением).

4. Наиболее эффективный вариант рециркуляции дымовых газов – в сами горелки через специальные каналы.

5. Нормативный метод регламентирует пределы  $\alpha$  для разных сортов и марок топлива [1,6].

#### Список литературы

1. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий. Учебник для вузов / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев (стереотипно с 1988 г). – М.: Изд-во ООО «БАСТЕТ», 2009. – 528 с.

2. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация: учеб. / Б.А.Соколов, 2008. 429 с.

3. Эстеркин Р. И. Перевод промышленных котлов на газообразное топливо/ Р. И. Эстеркин; ред. П. Н. Кендысь. - Л.: Энергия, 1967. 207 с.

4. Иванов, Ю. В. Основы расчета и проектирования газовых горелок / Ю. В. Иванов. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – 360 с.

5. Ведрученко, В. Р. Топливо и основы теории горения: монография / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов // Омский государственный университет путей сообщения. – Омск: ОмГУПС, 2010. – 260 с.

6. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / НПО «Центральный котлотурбинный институт». – СПб, 1998. – 256 с.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Горош Виктор Александрович**  
Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Студент кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: gorosh.viktor@gmail.com

**Ведрученко Виктор Родионович**  
Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Профессор, доктор технических наук  
кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: vedruchenkovr@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Gorosh Viktor Aleksandrovich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Student, the department of «Heat power  
engineering» OSTU.  
E-mail: gorosh.viktor@gmail.com

**Vedruchenko Victor Rodionovich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Doctor of technical Sciences, Professor  
(Russia), Professor in the Department «Heat  
power engineering» OSTU.  
E-mail: vedruchenkovr@mail.ru

**Е. М. Ильичева, С. В. Лукин**

Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Российская Федерация

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА**

*В данной работе предлагается эффективный энерготехнологический способ утилизации теплоты доменного шлака, в котором сжатый до давления 0,5 – 0,6 МПа воздух, обогащенный до 25 – 35 % кислородом, нагревается за счет теплоты шлака в установке сухой грануляции до температуры 1200 – 1300 °С, и подается в качестве воздушного дутья в доменную печь, минуя доменные воздухонагреватели. Рассмотрена принципиальная схема предлагаемой установки сухой грануляции шлака. Проведена оценка размеров решеток кипящего слоя и расстояния между ними, и установлены потери давления сжатого воздуха в установке. Предлагаемый способ позволяет экономить более ценный, чем пар, горючий энергоресурс – доменный газ.*

*Ключевые слова: сухая грануляция, шлак, доменная печь, кипящий слой, теплопередача, воздушное дутье.*

**Ekaterina M. Iljicheva, Sergej V. Lukin**

Cherepovets State University, Cherepovets, Russian Federation

## **DEVELOPMENT OF THE METHOD OF BLAST FURNACE SLAG DRY GRANULATION**

*In this research far more effective energotechnological method of slag sensible heat utilization is proposed, in which the air compressed to 0,5 – 0,6 MPa and enriched by oxygen to 25 – 35 % is heated in the slag dry granulation unit to temperature 1200 – 1300 °C and is delivered as an air blowing to the blast furnace, passing by the air heaters. The principal scheme of proposed slag dry granulation unit is considered. The evaluations of fluidized beds sizes and distances between them are made, and the air pressure loss in the unit is defined. The given method permits to save more valuable than steam combustible energy resource – blast furnace gas.*

*Key words: dry granulation, slag, blast furnace, fluidized bed, heat transfer, air blowing.*

При производстве чугуна в доменном производстве образуется расплавленный шлак, выход которого составляет 0,3 – 0,6 тонны на 1 тонну

чугуна. Жидкий шлак выходит из доменной печи при температуре порядка 1400 – 1500 °С, и содержит значительное количество физической теплоты, составляющей в расчёте на 1 тонну шлака 1600 – 1800 МДж, что эквивалентно 55 – 61 кг условного топлива [3].

В настоящее время некоторая часть жидкого доменного шлака направляется в установки мокрой грануляции, где получается гранулированный шлак с размером гранул 1-2 мм, а большая часть шлака отправляется на шлакоотвалы. Способ мокрого гранулирования шлака, несмотря на свою относительную простоту, имеет значительные недостатки. При мокрой грануляции требуются большие объёмы охлаждающей воды, при её контакте с расплавленным шлаком образуются сернистые соединения (сероводород и др.), загрязняющие окружающую среду. Утилизация физической теплоты шлака при этом практически полностью исключается. Кроме того, гранулированный шлак выходит с большой влажностью, и для его осушки требуется значительный расход теплоты, порядка 0,3 ГДж на 1 тонну гранулированного шлака [2]. Таким образом, мокрая грануляция шлака с экологической и энергетической точки зрения является очень неэффективной.

За рубежом уже длительное время проводятся исследования по сухой грануляции шлака, когда горячий шлак контактирует с охлаждающими газами (в частности, воздухом) [1]. Установки сухой грануляции шлака (УСГШ) теоретически являются гораздо более эффективными, так как позволяют практически полностью исключить вредные выбросы в окружающую среду, утилизировать физическую теплоту жидких шлаков, и получать качественное сырьё – сухой гранулированный шлак в стекловидном состоянии. Принципиальная схема УСГШ показана на рис. 1.

В крупных доменных печах давление воздушного дутья на входе в печь составляет 0,55 – 0,6 МПа, поэтому через УСГШ должен продуваться воздух с таким давлением.

В предлагаемой установке жидкий шлак (ЖШ) с температурой  $t_{жш} = 1400 – 1500$  °С по каналу 1 подается на вращающуюся чашу 2, и, стекая с большой скоростью с её краев, дробится на мелкие капли размером 1 – 2 мм струей воздуха 3, поступающего в кольцевой зазор между стенками подводящей трубы 4 и чашей 2. Гранулированный шлак (ГШ), разлетаясь в разные стороны от чаши, сталкивается с цилиндрической стенкой 5 грануляционной камеры (ГК),

охлаждаемой изнутри холодным воздухом (ХВ2), от которой отскакивает в застывшем состоянии.

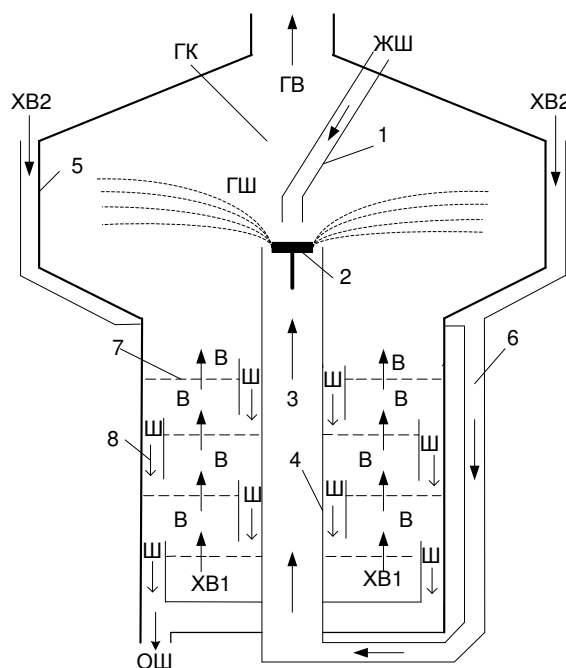


Рис. 1. Принципиальная схема установки сухой грануляции шлака

Воздух, предварительно подогретый в каналах стенки 5, по обводному каналу 6 поступает внутрь центральной трубы 4, по которой подводится к зазору возле чаши 2 для дробления жидкого шлака. Застывший гранулированный шлак, отскочивший от стенки 5, падает на первую решётку 7, где охлаждается в кипящем слое встречным воздухом (В), поступающим снизу через отверстия в решётке. По каналам 8 псевдооживленный гранулированный шлак перетекает на следующую решётку с кипящим слоем и т.д. Охлаждённый гранулированный шлак (ОШ) с температурой  $t_{\text{ош}} \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$  выдаётся с самой нижней решетки с кипящим слоем, продуваемой холодным воздухом (ХВ1) с начальной температурой  $t_{\text{хв}} \sim 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для того, чтобы горячий воздух (ГВ) нагрелся в установке до температуры  $t_{\text{гв}} = 1200 - 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ , число решёток в предлагаемой УСГШ должно быть не менее 10, при этом на каждой решётке воздух (В) подогревается примерно на  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , а шлак, соответственно, на столько же градусов охлаждается. Воздух, выходящий с самой верхней решётки, имеет температуру порядка  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , и его дополнительный нагрев на  $200 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$  происходит в грануляционной камере (ГК) при контакте с каплями жидкого шлака.

Чтобы обеспечить приведенный температурный режим охлаждения шлака и нагревания воздуха в УСШГ, нужно правильно выбрать размеры грануляционной камеры и решеток с кипящим слоем. Кроме того, важными параметрами являются скорость вращения центробежной чаши и величина кольцевого зазора вокруг неё, влияющие на степень дробления шлака и на размер его гранул.

Очевидно, установку сухой грануляции шлака целесообразно применять на крупных доменных печах, на которых выход чугуна и шлака происходит непрерывно, поскольку при периодической выдаче шлака потребуется аккумулятор жидкого шлака, что весьма усложнит установку. На одну домну потребуется установить две УСГШ – с двух сторон печи, поскольку передача жидкого шлака с одной стороны печи на её другую сторону связана с определенными трудностями.

Крупная домна выплавляет в сутки порядка 10 тыс. тонн чугуна, и, если принять выход шлака 0,5 тонн на тонну чугуна, и разделить его поровну на две УСГШ, то расход шлака на одну установку составит  $G_{\text{ш}} = 28,9$  кг/с. Принимая средний диаметр  $d$  гранул застывшего шлака (для простоты их считаем сферическими) и его плотность равными, соответственно, 2 мм и  $2800 \text{ кг/м}^3$ , давление и температуру воздуха равными 0,6 МПа и  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  (что соответствует средней решетке с кипящим слоем), по методике, приведенной в [4], можно рассчитать, что скорость воздуха, при которой возникает кипящий слой, составляет 0,91 м/с, а скорость, при которой происходит унос гранул, равна 7,1 м/с. Принимаем скорость воздуха  $w$ , продуваемого через кипящий слой, равной 3 м/с. Тогда удельный массовый расход воздуха в расчете на  $1 \text{ м}^2$  площади решетки составит  $8,11 \text{ кг/(\text{м}^2 \cdot \text{с})}$ . Удельный массовый расход шлака в расчете на  $1 \text{ м}^2$  площади решетки, с учетом того, что уменьшение температуры шлака на решетке должно равняться увеличению температуры воздуха на решетке, составит  $g_{\text{ш}} = 8,08 \text{ кг/(\text{м}^2 \cdot \text{с})}$ . Полная площадь решетки равняется  $S = G_{\text{ш}}/g_{\text{ш}} = 3,58 \text{ м}^2$ , а ее диаметр – 2,2 м.

Коэффициент конвективной теплоотдачи  $\alpha$ ,  $\text{Вт/(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$ , от поверхности гранул в кипящем слое можно рассчитать по критериальному уравнению [4]:

$$Nu = 0,316 \cdot Re^{0,8}, \quad 60 < Re < 500, \quad (1)$$

где  $Nu = \alpha \cdot d/\lambda$ ;  $Re = w \cdot d/\nu$ ;  $d$  – диаметр гранул шлака;  $\lambda$  и  $\nu$  – коэффициенты теплопроводности и кинематической вязкости воздуха.

При  $d = 0,002$  м и  $w = 3$  м/с, при параметрах воздуха 0,6 МПа и 500 °С из формулы (1) можно получить значение  $\alpha = 1193$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Тепловая эффективность кипящего слоя зависит от параметра [4]:

$$\chi = \frac{\alpha \cdot F_{\text{ш}}}{c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}}}, \quad \dots \quad (2)$$

где  $F_{\text{ш}}$  – площадь поверхности всех гранул шлака, находящихся на данной решетке, м<sup>2</sup>;  $c_{\text{в}}$ ,  $G_{\text{в1}}$  – теплоемкость и массовый расход воздуха через решетку. При значениях параметра  $\chi$ , превышающих 3, данный параметр практически перестает влиять на теплопередачу в кипящем слое, однако при увеличении  $\chi$  возрастает масса кипящего слоя шлака на данной решетке и увеличивается его аэродинамическое сопротивление. Поэтому, в качестве рационального значения можно принять  $\chi = 3$ . Тогда, из выражения (2) можно оценить величину  $F_{\text{ш}}$ :

$$F_{\text{ш}} \approx \frac{3 \cdot c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}}}{\alpha} \approx \frac{3 \cdot c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}}}{\alpha}, \quad (3)$$

где  $c_{\text{ш}}$ ,  $G_{\text{ш}}$  – теплоемкость и массовый расход шлака через решетку.

Выражение (3) получено из условия  $c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}} \cong c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}}$ , при котором на каждой решетке уменьшение температуры шлака примерно равняется увеличению температуры воздуха. Если принять  $c_{\text{ш}} = 1114$  Дж/(кг·К),  $G_{\text{ш}} = 28,9$  кг/с,  $\alpha = 1193$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), то по формуле (3) находим:  $F_{\text{ш}} \approx 80$  м<sup>2</sup>.

Массу шлака, кипящего на решетке, можно оценить по выражению [5]:

$$M_{\text{ш}} = \rho_{\text{ш}} \cdot F_{\text{ш}} \cdot d/6, \quad (4)$$

где  $\rho_{\text{ш}} = 2700 - 2800$  кг/м<sup>3</sup> – плотность шлака;  $d$  – диаметр гранул шлака.

Выражение (4) получено из условия, что все гранулы сферические и имеют одинаковый диаметр.

При  $\rho_{\text{ш}} = 2800$  кг/м<sup>3</sup>,  $F_{\text{ш}} = 80$  м<sup>2</sup>,  $d = 0,002$  м, формула (4) дает значение  $M_{\text{ш}} \approx 75$  кг, что в расчете на 1 м<sup>2</sup> площади решетки дает удельное значение  $m_{\text{ш}} = M_{\text{ш}}/S = 20,7$  кг/м<sup>2</sup>, при  $S = 3,58$  м<sup>2</sup>.

Потери давления воздуха, Па, в кипящем слое на отдельной решетке можно оценить по выражению [4]:

$$\Delta p \approx m_{\text{ш}} \cdot g, \quad (5)$$

где  $m_{\text{ш}} = M_{\text{ш}}/S$ ;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения.

При  $m_{\text{ш}} = 20,7$  кг/м<sup>2</sup> потери давления на одной решетке, рассчитанные по выражению (5), равны 203 Па, а на десяти решетках – 2030 Па, что составляет

0,34 % от полного давления воздуха 0,6 МПа.

Тепловой поток, передаваемый от шлака к воздуху на одной решетке с кипящим слоем, определяется совместным уравнением теплопередачи и теплового баланса [5]:

$$Q = \alpha \cdot F_{\text{ш}} \cdot (t_{\text{ш}} - t_{\text{в}}) = c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}} \cdot (t'_{\text{ш}} - t''_{\text{ш}}) = c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}} \cdot (t''_{\text{в}} - t'_{\text{в}}), \quad (6)$$

где  $t_{\text{ш}}$ ,  $t_{\text{в}}$  – средние температуры шлака и воздуха в кипящем слое;  $t'_{\text{ш}}$ ,  $t''_{\text{ш}}$  – температуры шлака на входе и выходе из данной решетки;  $t'_{\text{в}}$ ,  $t''_{\text{в}}$  – температуры воздуха на входе и выходе из данной решетки.

Средняя температура шлака в кипящем слое равняется температуре шлака, покидающего решетку:  $t_{\text{ш}} = t''_{\text{ш}}$ , и связана с температурами воздуха  $t'_{\text{в}}$ ,  $t''_{\text{в}}$  выражением [4]:

$$t_{\text{ш}} = \frac{t''_{\text{в}} - t'_{\text{в}} \cdot \exp(-\chi)}{1 - \exp(-\chi)}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при  $\chi \geq 3$   $t_{\text{ш}} \cong t''_{\text{в}}$ .

Средняя температура воздуха в кипящем слое определяется выражением:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{ш}} + (t'_{\text{в}} - t''_{\text{в}}) / \chi. \quad (8)$$

При заданных температурах шлака  $t'_{\text{ш}}$  и воздуха  $t'_{\text{в}}$  на входе в решетку, с помощью выражений (6) – (8) методом последовательных приближений можно рассчитать тепловой поток  $Q$ , и температуры шлака  $t''_{\text{ш}}$  и воздуха  $t''_{\text{в}}$  на выходе из данной решетки.

При значениях  $\chi \geq 3$  расчет теплопередачи можно значительно упростить, если в выражении (6) принять  $t''_{\text{в}} \cong t_{\text{ш}}$ ,  $t''_{\text{ш}} = t_{\text{ш}}$ :

$$Q = c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}} \cdot (t'_{\text{ш}} - t_{\text{ш}}) = c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}} \cdot (t_{\text{ш}} - t'_{\text{в}}).$$

Из последнего выражения определяются температура шлака и воздуха на выходе из решетки:

$$t''_{\text{ш}} = t''_{\text{в}} = t_{\text{ш}} = \frac{t'_{\text{ш}} + \omega \cdot t'_{\text{в}}}{1 + \omega}, \quad \omega = \frac{c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}}}{c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}}}. \quad (9)$$

Тепловой поток, передаваемый от шлака к воздуху на решетке, равен:

$$Q = c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}} \cdot \left( \frac{t'_{\text{ш}} - t'_{\text{в}}}{1 + \omega} \right). \quad (10)$$

Как уже отмечалось, на решетках целесообразно выдерживать соотношение  $c_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}} \approx c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в1}}$ , поэтому в выражениях (9) и (10) параметр  $\omega \approx 1$ .

Если принять, что на каждой решетке кипящего слоя температура поступающего шлака  $t'_{ш}$  примерно на  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  больше температуры входящего воздуха  $t'_{в}$ , то есть  $t'_{ш} = t'_{в} + 200, \text{ }^{\circ}\text{C}$ , то из (9) при  $\omega = 1$  следует, что температуры шлака и воздуха, покидающие решетку, равны  $t''_{ш} = t''_{в} = t'_{в} + 100 = t'_{ш} - 100, \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Так, на самой верхней решетке температура поступающего шлака равна  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура входящего снизу воздуха –  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом температуры шлака и воздуха, покидающих решетку, равны  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для самой нижней решетки температура поступающего шлака равна  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура входящего воздуха –  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом температуры шлака и воздуха, покидающих решетку, равны  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Тепловой поток, передаваемый на каждой решетке, определенный по выражению (10), при  $c_{ш} = 1114\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $G_{ш} = 28,9\text{ кг/с}$ ,  $\omega = 1$ ,  $t'_{ш} - t'_{в} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , равняется  $Q = 3,22\text{ МВт}$ . На 10 решетках от шлака к воздуху передается тепловой поток  $32,2\text{ МВт}$ . В грануляционной камере при охлаждении шлака на  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  воздуху передается тепловой поток, равный  $9,65\text{ МВт}$ . Всего в рассматриваемой установке сухой грануляции шлака воздух с общим расходом  $G_{в} = g \cdot G_{ш} = 1,083 \cdot 28,9\text{ кг/с} = 31,3\text{ кг/с}$  получает  $41,8\text{ МВт}$  теплоты и нагревается от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Если принять, что выход чугуна из домны в два раза больше по массе, чем выход шлака, и при удельном расходе воздушного дутья  $0,8 - 0,9\text{ м}^3/\text{кг}$  чугуна, расход воздушного дутья составит  $46,2 - 52\text{ м}^3/\text{с}$ , или  $60,1 - 67,5\text{ кг/с}$  (при нормальной плотности воздуха  $1,294\text{ кг/м}^3$ ). В этом случае предлагаемая УСГШ позволяет получать до половины от необходимого воздушного дутья с температурой  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответственно, расход газообразного топлива (в основном, доменного газа) на обогрев ДВ, и необходимая поверхность нагрева воздухоподогревателей сокращаются почти в два раза.

#### Список литературы

1. Каппес, Х. Сухая грануляция шлака с утилизацией энергии – от рождения идеи до пилотной установки / Х. Каппес, Д. Мичелс // Черные металлы. – 2015. – № 5(1001). – С. 46 – 52.

2. Каушанский, В. Е. Влияние термообработки доменного гранулированного шлака на его размалываемость и активность / В. Е. Каушанский, А. С. Трубицын, С. Б. Казаков // Изв. вуз. Строительство. – 2003. – №7 (535). –

С. 58 – 62.

3. Потери тепла с жидкими доменными шлаками и технические решения по их сокращению / Е. Г. Урбанович, В. А. Панов и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2008. – №7 (1303). – С. 51 – 56.

4. Процессы тепло - и массопереноса в кипящем слое / Под ред. А. П. Баскакова. – М.: Металлургия, 1978. – 248 с.

5. Растригин, О. П. Оценка взаимосвязи параметров сухой грануляции шлака / О. П. Растригин, С. И. Аввакумов // Металлургические процессы и оборудование. – 2008. – №3 (13). – С. 45-52.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Ильичева Екатерина Михайловна**

Череповецкий государственный университет.  
162600, Россия, Череповец, пр. Луначарского, 5.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».

**Лукин Сергей Владимирович**

Череповецкий государственный университет.  
162600, Россия, Череповец, пр. Луначарского, 5.  
профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и теплотехника».

УДК 669.2

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Pjicheva Ekaterina Mikhailovna**

Cherepovets State University.  
5, Lunacharskogo st., Cherepovets, 162600, the Russian Federation.  
Post-graduate student of the department «Power system and heating engineer».

**Lukin Sergej Vladimirovich**

Cherepovets State University.  
5, Lunacharskogo st., Cherepovets, 162600, the Russian Federation.  
Doctor of Technical Sciences, Professor chairperson of the department «Power system and heating engineer».

**Ю. М. Журавлева, А. Н. Ригин, Н. И. Шестаков**

Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Российская Федерация

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА РОЛИКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Актуальность темы обусловлена востребованностью и экономической эффективностью решений по защите от износа и коррозии, продления сроков эксплуатации деталей промышленного оборудования при помощи нанесения функциональных и защитных покрытий. Для защиты поверхности роликов от трещинообразования и износа, предлагается использовать защитные покрытия, нанесенные газотермическим напылением*

*с последующей лазерной обработкой с оплавлением поверхности. Данная технология нанесения покрытий позволяет обеспечить повышение стойкости к высоким температурам при минимальной толщине наносимого слоя.*

*Ключевые слова: покрытие, лазер, ролик, газотермическое напыление, оплавление поверхности, износостойкость, термоупрочнение.*

**Julia M. Zhuravleva, Alexander N. Rigin, Nikolay I. Shestakov**

Cherepovets State University, Cherepovets, Russian Federation

## **MODELING OF THERMAL TECHNOLOGY OF COATING COATINGS TO ENHANCE THE OPERATIONAL RESOURCE OF ROLLERS OF METALLURGICAL PRODUCTION**

*In article possibilities of application of modeling in heat power processes reveal. The short review of the main forms for modeling is shown. The example of the developed video in which the schematic thermal diagram of combined heat and power plant is visualized is presented.*

*Key words: modeling, power system, models, processes, video.*

Оборудование, изготавливаемое из стали, и других металлов и сплавов, подвержено износу и коррозии, что существенно сокращает его срок службы. Изношенные детали списываются в металлолом, при переплавке теряя до 20% входящих в их состав ценных металлов (*Cr, Ni* и др.). Затраты на ремонт и потери от простоя, либо выхода из строя оборудования, зачастую многократно превышают стоимость проведения работ по замене оборудования.

На начальном этапе, зарождение дефектов на стальных роликах МНЛЗ под воздействием высоких температур происходит в слое от поверхности до глубины 0,6 – 0,9 мм. При развитии разгарных трещин до глубины более 2 мм, ролик дефектуется. Имеет место также механический износ, неравномерный по длине ролика, под воздействием прокатываемых слябов [1].

Способом решения данных проблем является нанесение на поверхность детали покрытия (металлического, металлокерамического, либо керамического), обладающего повышенной стойкостью к высокой температуре, к агрессивным средам, твердостью, протекторными, и другими специальными свойствами, позволяет увеличить срок эксплуатации промышленного оборудования и его эксплуатационную надежность, либо восстановить

геометрию изношенной детали.

Типичная профилограмма износа представлена на рисунке 1.

Максимальные напряжения в теле ролика возникают на глубине до 6 мм от поверхности, поэтому, толщина наплавки электродуговым или газопорошковым методом должна составлять не менее 8 – 10 мм, чтобы исключить воздействие напряжений на зоны, подвергшиеся термическому разупрочнению при сварке, и предотвратить отслоение наплавленного слоя. Использование традиционной электродуговой наплавки, даже с использованием специальных наплавочных материалов, не обеспечивает существенного увеличения сроков эксплуатации, либо требует существенных затрат.

Применение традиционных железно-базированных наплавочных материалов для роликов 1 – 3 секции не имеет сколь-нибудь существенного эффекта из-за полиморфных превращений в наплавленном слое под действием высоких температур с последующим образованием разгарных трещин и разрушением поверхности ролика. Применение дорогих термостойких материалов экономически невыгодно из-за большой толщины слоя наплавки расхода материала.

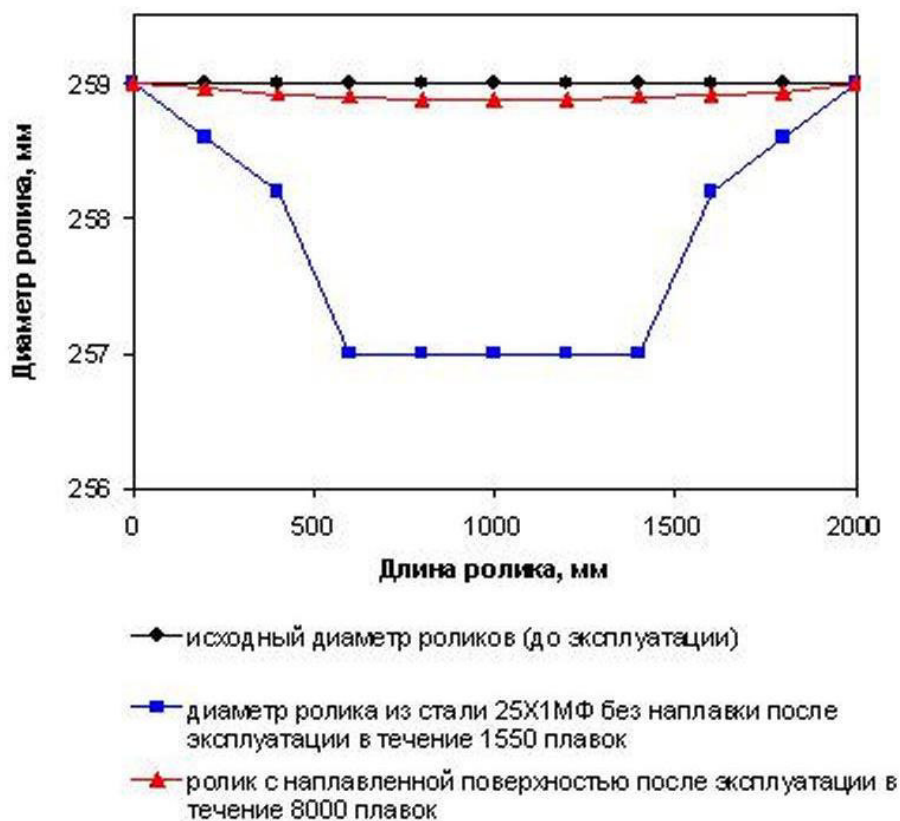


Рис. 1. Профилограмма износа ролика МНЛЗ (ширина слябов от 1100 до 1850 мм)

Поэтому, актуальна разработка материалов и технологии, с помощью которой возможно нанесение на ролик МНЛЗ относительно тонких (до 1 – 1,5 мм) покрытий, стойких к термоциклированию и высокой температуре, а также, к износу и механическим нагрузкам.

Исходя из данных условий, оптимальным вариантом для ролика МНЛЗ будет являться композиционное покрытие, имеющее в качестве основы мягкую матрицу (на основе никеля либо кобальта), и содержащее твердые частицы (карбиды, бориды, нитриды) для обеспечения износостойкости, а также, имеющее металлургическую связь (сплавленное) с основным материалом ролика.

Исходя из имеющихся условий работы, для защиты поверхности охлаждаемых роликов МНЛЗ от трещинообразования и износа, предлагается использовать защитные покрытия, нанесенные газотермическим напылением с последующей лазерной обработкой – оплавлением.

Основными этапами данной технологии являются:

- подготовка и активация поверхности (абразивоструйной обработкой);
- газотермическое напыление покрытия;
- лазерная обработка покрытия с оплавлением поверхности.

Вначале следует подготовить и активировать поверхность. Для этого с поверхности детали удаляют оксиды, органические, масляные и другие загрязнения при помощи растворителей, механически, либо другими способами. Создаваемая при этом поверхность позволяет образовать прочный адгезионный контакт при последующем нанесении покрытий напылением, либо другими методами [2].

Газотермическое напыление позволяет наносить композиционные покрытия, в состав которых входит мягкая матрица, обеспечивающая стойкость к температурному растрескиванию, легирующие флюсующие материалы, износостойкие карбиды и элементы. Составляющие композиционного покрытия обеспечивают сочетание необходимых для покрытия свойств. Однако, использование только напыления не достаточно, так как износ покрытия роликов МНЛЗ сопровождается значительными динамическими нагрузками и ударами, а напыление дает только адгезионную связь с основой. Применение лазерного оплавления позволяет обеспечить необходимую микроструктуру, металлическую связь с основой, обеспечить необходимые эксплуатационные свойства покрытия.

Оплавленное покрытие имеет меньшую шероховатость и повышенную микротвердость, а также, позволяет снизить износ под воздействием вдавливания окалины, брызг расплавленного металла и механических повреждений, характерных при работе МНЛЗ. Преимуществом лазерного оплавления является минимальная зона термического влияния на деталь, на которую наносится покрытие: образующаяся зона сплавления покрытия с основной составляет всего 20 – 50 микрон, при этом обеспечивается металлургическая связь покрытия с основой. При подборе соответствующих режимов лазерной обработки, образуется мелкозернистая структура и не происходит разупрочнения материала покрытия и основы. Это позволяет обеспечить минимальные толщины покрытий, по сравнению с любыми другими методами наплавки, и делает экономически целесообразным применение более дорогих и более термостойких материалов покрытий.

В рамках реализации настоящего проекта были проведены исследования с нанесением покрытия и лазерной обработкой опытных образцов, чтобы определить возможные технологические режимы нанесения и материал покрытий.

Вначале осуществлялось газотермическое напыление серии композиционных покрытий на основе никеля и кобальта на поверхность образцов из низколегированной стали (09Г2С). Затем осуществлялось лазерная обработка с оплавлением поверхности иттербиевым волоконным лазером с длиной волны  $\lambda=1,07$  мкм, непрерывным лазерным излучением. При этом использовалась специальная оптика, обеспечивающая равномерное (негауссовое) распределение излучения по диаметру пятна. Свойства наплавленного слоя и основного металла зависят от глубины проплавления материала основы и физико-химических процессов, протекающих непосредственно в плакирующем металле [3]. Режимы оплавления подбирались таким образом, чтобы исключить коробление, а также формирование трещин. Для этого интенсивность теплового источника должна составлять:

$$q_{\text{пл}}^{\text{эф}} = T_{\text{пл}} \lambda \left( \frac{\pi}{4at} \right)^{1/2},$$

где  $T_{\text{пл}}$  – температуры плавления,  $\lambda$  – теплопроводность,  $a$  – температуропроводность ( $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ ,  $\rho$  – плотность,  $c$  – удельная теплоемкость),  $t$  – время выдержки.

После оплавления поверхность образцов подвергалась визуальному осмотру на наличие дефектов и последующим металлографическим исследованиям.

Нанесение газотермического покрытия позволило сформировать на поверхности покрытие, имеющее адгезионную связь с основой; лазерное оплавление обеспечивает сплавление материала покрытия с основой, имеет практически нулевую пористость.

В зависимости от плотности мощности и фокусировки лазерного излучения, были определены границы режимов (рис. 2(а), три полосы слева), позволяющие проводить бездефектное оплавление. Оплавление вне границ этих режимов приводит либо к оплавлению покрытия «каплями», либо непроплавлению покрытия (рис. 2(а), полосы справа). В результате были подобраны оптимальные режимы оплавления и лазерной термообработки, с перекрытием позволяющие сформировать ровную плотную поверхность (рис. 2(б)) без пор.

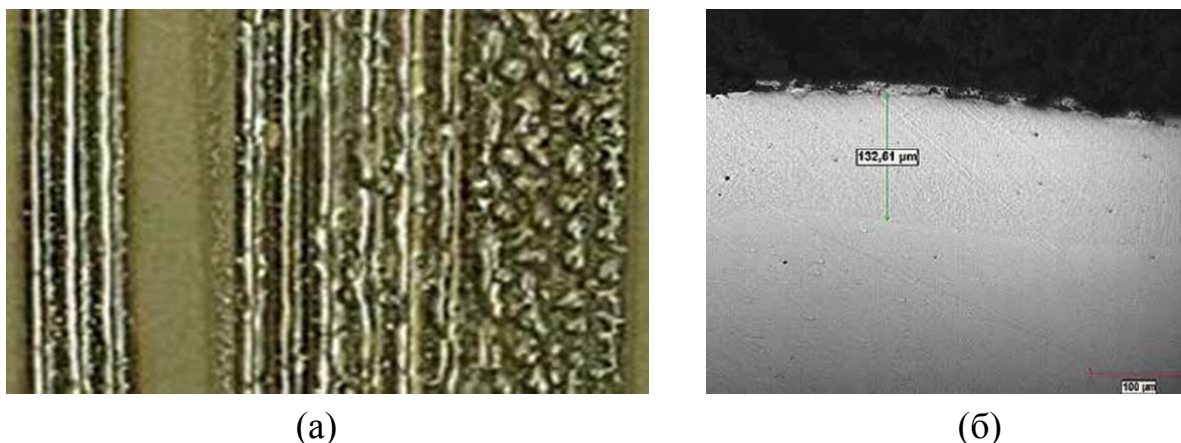


Рис. 2. Лазерное оплавление покрытия (Ni-based)

По результатам серии экспериментов с оплавлением покрытий с использованием различных материалов на никелевой и кобальтовой матрице, и толщиной 100, 150, 200 и 250 мкм, было выяснено, что технология позволяет уверенно достигать качественного оплавления и сплавления с основой покрытий при толщинах до 200 мкм. Оплавление лазером покрытий толщиной от 250 мкм до 1,25 мм возможно с использованием дополнительного подогрева основы и покрытия до температуры  $150^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ , что на практике может быть обеспечено индукционным нагревом.

Металлографические исследования образцов с покрытием из материала, который предполагается использовать на 1 – 3 секции МНЛЗ, свидетельствует о

том, что оплавление покрытия приводит к образованию литой микроструктуры.

При полном проплавлении покрытия, характерно образование в нем дендритной микроструктуры на границе подложка – покрытие толщиной 40 – 70 мкм; зона сплавления составляет 20 – 50 микрон и имеет прочную структуру. Фазовый анализ показывает образование износостойких фаз (карбидов и сложных соединений) в структуре покрытия. Микротвердость оплавленного покрытия по Виккерсу составляет *HV815*, твердость *55 HRC* (для основы – литейной низколегированной стали материала ролика микротвердость составляет около *HV180*, твердость *172 HRB*). В зависимости от содержания легирующих элементов в составе порошка, можно обеспечить большую твердость используемого покрытия (до *72 HRC*), но при этом его стойкость к термоциклированию будет меньше. Стойкость к высоким температурам и термоциклированию в сочетании с износостойкостью могут обеспечить ряд композиционных материалов на основе кобальта. Шероховатость поверхности *Ra* от 0,5 до 3 в зависимости от режима и перекрытия пятна.

Использование разработанной технологии имеет ряд преимуществ:

- технология позволяет нанести покрытие, имеющее в несколько раз большую прочность и износостойкость

- технология позволяют наносить равномерно оплавленные по всей глубине покрытия, которые имеют металлургическую связь с основой, что обеспечивается сплавлением металла покрытия и основы на границе сред. Данный фактор обеспечивает стойкость к воздействию высоких температур, позволяет в несколько раз увеличить стойкость к ударным нагрузкам и износу.

- покрытие имеет меньшую себестоимость – толщина покрытия меньше чем при использовании электродуговой наплавки; лазерная обработка имеет более высокий КПД.

Нанесение на ролики МНЛЗ газотермических покрытий с лазерной постобработкой позволяет повысить их ресурс более чем 6 раз по сравнению с неупрочненными роликами, и соответственно увеличить продолжительность безремонтной эксплуатации оборудования МНЛЗ.

#### Список литературы

1. Мазур, Н. В. Повышение стойкости роликов МНЛЗ на основе результатов исследования и моделирования процессов при их изготовлении, восстановлении и эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13.

Магнитогорск, 2009. 21 с.

2. Моделирование устройства и способа нанесения покрытий с предварительным индукционным нагревом / А. Н. Ригин, Ю. М. Журавлева и др. // Вестник Череповецкого государственного университета.– Череповец: ЧГУ. – 2018. – № 2 (83).

3. Математическое моделирование теплообмена при плазменной наплавке металла на поверхность роликов // Н. И. Шестаков, Ю. В. Антонова, С. В. Лукин // Вестник Череповецкого государственного университета, 2012. – Т.1 №3. – С. 14 – 17.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Журавлева Юлия Михайловна**

Череповецкий государственный университет.  
162600, Россия, Череповец, пр. Луначарского, 5.  
Аспирант кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».  
Тел.: 8-909-599-64-15  
E-mail: iumzhuravleva@chsu.ru

##### **Ригин Александр Николаевич**

Череповецкий государственный университет.  
162600, Россия, Череповец, пр. Луначарского, 5.  
Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».  
Тел.: (8202) 51-78-29.  
E-mail: pte@chsu.ru

##### **Шестаков Николай Иванович**

Череповецкий государственный университет.  
162600, Россия, Череповец, пр. Луначарского, 5.  
Доктор технических наук, профессор, професор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».  
Тел.: (8202) 51-78-29  
E-mail: nishestakov@chsu.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Zhuravleva Julia Mikhailovna**

Cherepovets State University.  
5, Lunacharskogo st., Cherepovets, 162600, the Russian Federation.  
Post-graduate student of the department «Power system and heating engineer».  
Tel: 8-909-599-64-15  
E-mail: iumzhuravleva@chsu.ru

##### **Rigin Alexander Nikolaevich**

Cherepovets State University.  
5, Lunacharskogo st., Cherepovets, 162600, the Russian Federation.  
Candidate of Economic Sciences, associate professor "Power system and heating engineer".  
Tel: (8202) 51-78-29  
E-mail: pte@chsu.ru

##### **Shestakov Nikolay Ivanovich**

Cherepovets State University.  
5, Lunacharskogo st., Cherepovets, 162600, the Russian Federation.  
Doctor of Engineering, professor, professor of department "Power system and heating engineer".  
Tel: (8202) 51-78-29  
E-mail: nishestakov@chsu.ru

**С. А. Поповский, С. В. Глухов**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*В статье рассмотрены способы использования вторичных энергоресурсов для отопления и горячего теплоснабжения на промышленных предприятиях.*

*Ключевые слова: тепловой насос, вторичные энергоресурсы, ограждающие конструкции, промышленное производство.*

**Sergey V. Glukhov, Sergey A. Popovsky**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **APPLICATION OF HEAT PUMPS IN INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*The article discusses how to use secondary energy for heating and hot heat in industrial enterprises. Suggested options for heat sources for use in the heat pump.*

*Key words: heat pump, secondary energy resources, enclosing structures, industrial production.*

В последнее годы регулярно подчеркивается, что увеличение мирового капитала достигается за счет использования природных ресурсов и экосистем, то есть за счет истощения природного капитала. Резкое обострение экологических проблем четко демонстрирует необходимость изменения отношения человека и природных ресурсов.

Во всех отраслях промышленности, на предприятиях любого масштаба, можно заметить источники низкопотенциального тепла, пригодного для частичного или полного замещения традиционных источников энергии для отопительных нужд и нужд ГВС.

Как известно, насос – это устройство, которое перекачивает что-либо с

нижнего уровня на верхний. Из названия понятно, что тепловой насос перекачивает тепло. С нижнего температурного уровня на верхний, с более высокой температурой. При этом нет никакого нарушения второго начала термодинамики. Энергия теплового насоса может быть полностью «зеленой», без малейшего так называемого «углеродного следа».

Традиционно при использовании тепловых насосов выделяют следующие источники низкопотенциального тепла:

1) Воздух. Принимая во внимание, что температура наружного воздуха в отопительном сезоне значительно изменяется, применение данного источника для качественного и надежного теплоснабжения потребителя весьма ограничено и эффективно в области температур от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2) Подземные воды. Тепло, содержащееся в этих водах, напрямую подается в ТН. При использовании в качестве источника теплоты подземной воды также имеются нюансы, главный из них: охлажденную в ТН воду нельзя возвращать назад прямо в место отбора, поскольку происходит постепенное захламление отбираемой воды. Кроме того месторождения термальных вод имеют ограниченное распространение и их высокая минерализация может вызвать отложения на поверхностях нагрева оборудования и трубопроводах.

3) Поверхностные воды. При использовании поверхностной воды к ней предъявляются определенные требования, как и для подземной воды. При внедрении ТН с использованием данного источника низкотемпературной тепловой энергии очень часто возникают проблемы с чистотой воды, а также с изменением ее температуры по сезону (в большинстве случаев температура поверхностной воды поддерживается за счет стоков промышленных предприятий).

4) Солнечная энергия. Использование солнечной энергии возможно при помощи солнечных коллекторов или в комбинации с дополнительным источником низкотемпературной тепловой энергии

5) Отработанное тепло промышленных предприятий. В результате технологических процессов на промышленных предприятиях возникает большое количество низкотемпературной тепловой энергии, которая не до конца используется в технологическом цикле.

6) Стоки. Вода, однократно потребляемая промышленными предприятиями (около 40 % всего объема), в конечном счете сбрасывается и канализуется в естественные водоемы [1].

Наиболее актуальными направлениями использования вторичных энергоресурсов на нефтехимических предприятиях Омской области являются:

1) Горючие ВЭР, состоящие из всех видов топливных вторичных продуктов и отходов и получаемые в результате технологических процессов с участием топливных и сырьевых (горючих) ресурсов; водород в производстве каустической соды, фракция СО в производстве аммиака, печные газы производства кальция, танковые и продувочные газы в производствах аммиака и метанола, печной газ в производстве желтого фосфора и другие газообразные горючие продукты, а также загрязненное дизельное топливо.

2) Тепловые ВЭР. Сюда относится тепло отходящих газов технологических агрегатов, тепло основной, побочной, промежуточной продукции и отходов основного производства, тепло рабочих тел систем принудительного охлаждения технологических агрегатов и установок, тепло горячей воды и пара, отработанных в технологических и силовых установках.

К тепловым ВЭР следует отнести также все попутно вырабатываемое тепло (в виде пара и горячей воды) в технологических и энерготехнологических агрегатах независимо от того, где оно используется – в данном технологическом процессе или для энергоснабжения других процессов.

3) ВЭР избыточного давления. К ним относятся обладающие потенциальной энергией газы и жидкости, покидающие технологические агрегаты под избыточным давлением, достаточным для их дальнейшего эффективного использования [2].

Схемы теплоснабжения с тепловым насосом, применяемые для теплоснабжения потребителей, можно разделить с точки зрения включения пикового подогревателя на последовательные и параллельные. При последовательной схеме вода, нагретая тепловым насосом – при температурах наружного воздуха, при которых ее температуры достаточно для покрытия нагрузки – поступает в радиаторы. При более холодной погоде включается пиковый источник. При параллельной схеме с пиковым догревом вода, нагретая тепловым насосом, подается в радиаторы на протяжении всего отопительного периода, а, начиная с определенных температур наружного воздуха, для поддержания нормативной температуры воздуха в отапливаемых помещениях требуется генерация недостающего тепла. В качестве его источника может быть использован традиционный источник теплоснабжения или электродкотлы, или местные нагреватели конвективного или инфракрасного типа, что влечет

дополнительные затраты. Высокую энергетическую эффективность обеспечивает комбинирование теплового насоса с системой отопления «Теплый пол». В такой системе тепловой насос работает на протяжении всего отопительного периода. Однако в ней, начиная с определенных температур наружного воздуха, для поддержания нормативной температуры воздуха в помещениях требуется дополнительная генерация тепла, при этом средняя температура для полов помещений с постоянным пребыванием людей не должна превышать 26°C.

Положительным свойством абсорбционных и адсорбционных тепловых насосов является то, что они могут работать на сравнительно дешевой энергии сжигания горючего. В тепловых насосах этого типа отсутствует электрический компрессор, электрическая мощность требуется лишь для циркуляции теплоносителя в системе отопления и в системе сбора низкопотенциального тепла. Абсорбционные и адсорбционные тепловые насосы требуют меньшей холодопроизводительности, чем компрессионные - это позволяет использовать скважины меньшей глубины, что дает экономию на дорогостоящих работах по бурению.

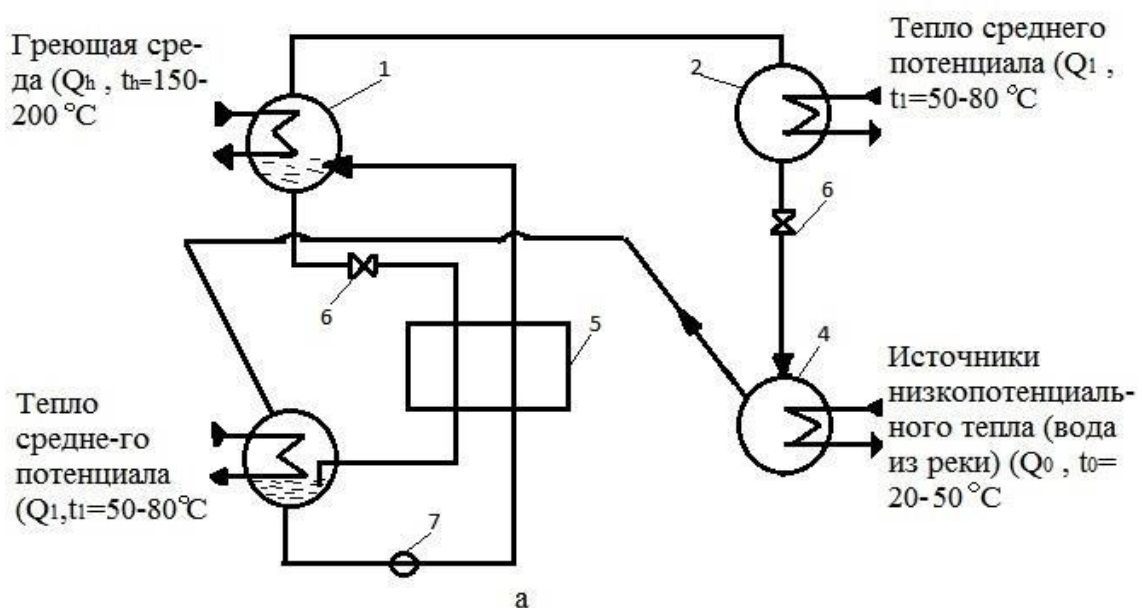


Рис. 1. Принципиальные схемы понижающего теплового насоса абсорбционного типа: 1 – генератор; 2 – конденсатор; 3,7 – насосы; 4 – испаритель; 5 – теплообменник; 6 – дроссельный вентиль

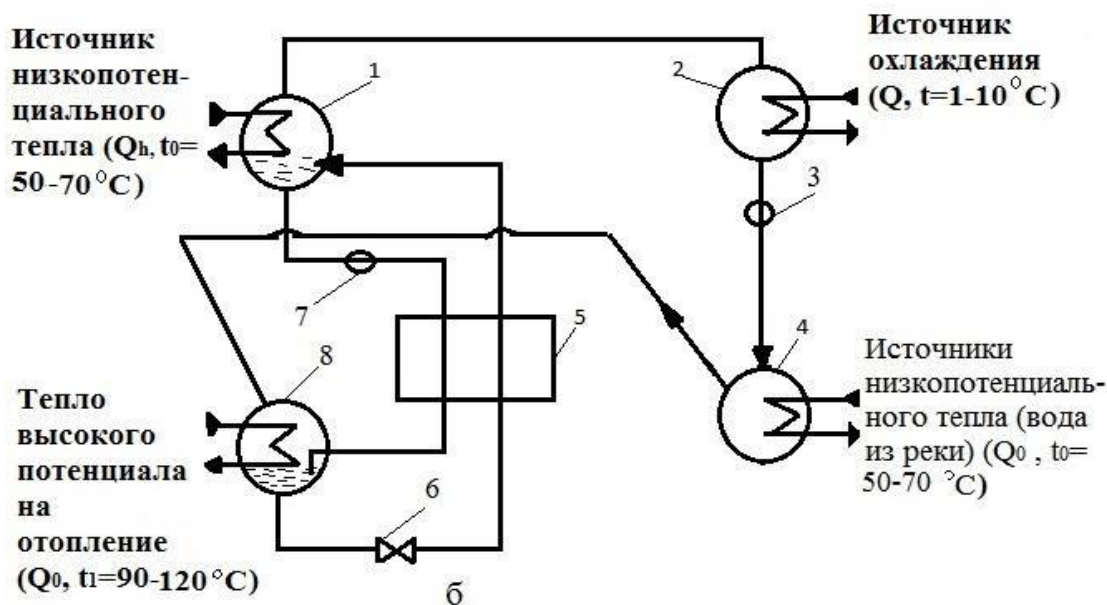


Рис. 2. Принципиальные схемы повышающего теплового насоса абсорбционного типа: 1 – генератор; 2 – конденсатор; 3,7 – насосы; 4 – испаритель; 5 – теплообменник; 6 – дроссельный вентиль; 8 – абсорбер.

Такой перечень ВЭР можно использовать именно в тепловых насосах на промышленных предприятиях.

Одно из существенных положительных качеств теплового насоса является почти полное отсутствие обслуживания, из этого следует что нет никаких затрат на эксплуатацию. Так же нужно отметить, что при установке теплового насоса нет необходимости менять систему отопления (остаются те приборы и трубы которые были установлены). Нельзя не сказать и о недостатке, что такое оборудование необходимо применять с системой отопления, обеспечивающей полное использование его возможностей т.е. минимальные потери и хороший теплосъем.

В дальнейших исследованиях будет мной будет произведена оценка внедрения теплового насоса на примере предприятия нефтехимического кластера г. Омска.

#### Список литературы

1. Петин, Ю. М. Термодинамические аспекты использования тепловых насосов в климатических условиях России / Ю. М. Петин. – 2008.
2. Хараз, Д. И. Пути использования вторичных энергоресурсов в химических производствах / Д. И. Хараз, Б. И. Псахис. – 1984.

3. Гашо, Е. Г. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре / Е. Г. Гашо, С.А. Козлов. – 2017. – 204с.

4. Стариков Е.В., Никитин А. Д., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. термомеханический насос с использованием низкопотенциальной тепловой энергии// Альтернативная энергетика и экология. 2015;(10-11):91-97 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Глухов Сергей Витальевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Россия, город Омск, 644046, Карла Маркса проспект, 35  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: svgluk@mail.ru

##### **Поповский Сергей Андреевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Студент третьего курса, кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: popovsky2206@mail.ru

УДК 699.865

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Glukhov Sergey Vitalyevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Heat power engineering", Associate Professor (Russia), OSTU.  
E-mail: svgluk@mail.ru

##### **Popovsky Sergey Andreevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Student of "Heat power engineering", OSTU.  
E-mail: popovsky2206@mail.ru

#### **Е. М. Резанов, П. В. Петров**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Российская Федерация

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО МЕРОПРИЯТИЯ ПО УТЕПЛЕНИЮ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

*Актуальность повышения энергосберегающего мероприятий по утеплению стен здания связано с технико-экономической целесообразностью. Целью является исследование на результативность алгоритма определения оптимального значения толщины теплоизоляционного материала, с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии. В проведенном эксперименте использовались методы математического моделирования сложного теплообмена, оптимизационной задачи, нелинейного программирования и технико-экономических*

расчетов. Приведены результаты численного исследования изменения толщины теплоизоляционного материала на технико-экономическую эффективность.

*Ключевые слова:* теплоизоляция, толщина, ограждающие конструкции, эффективность, затраты.

**Evgeniy M. Rezanov, Pavel V. Petrov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **INCREASE IN EFFICIENCY OF THE ENERGY SAVING ACTION FOR WARMING OF EXTERNAL WALLS OF BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT REGULATION OF THE HOLIDAY OF THERMAL ENERGY**

*Relevance of increase energy saving actions for warming of walls of the building it is connected with technical and economic expediency. The purpose is the research on effectiveness of an algorithm of determination of optimum value of thickness of heat-insulating material, taking into account regulation of the released thermal energy. In the made experiment methods of mathematical modeling of difficult heat exchange, an optimizing task, nonlinear programming and technical and economic calculations were used. Results of a numerical research of change of thickness of heat-insulating material on technical and economic efficiency are given.*

*Key words:* thermal insulation, thickness, enclosing structures, efficiency, expenses.

Актуальность разработки вопросов, направленных на сбережение энергетических ресурсов и затрат, является одним из основных направлений в России и отвечает Федеральному закону № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» от 28 декабря 2013 года [1].

Проведенное термографическое обследование энергетических объектов [2, 3] показало, что потери тепла в тепловом балансе здания, в среднем распределяется следующим образом: наружные стены – 30 %; окна – 20 %; пол и крыша – 10 %; вентиляция – 40 %.

Современные нормы сбережения тепловой энергии и теплозащиты при капитальном ремонте зданий ориентированы на применение весьма ограниченного набора решений по снижению энергетического потребления, не всегда отвечающих конкретным условиям строительства и зачастую весьма дорогостоящих, но избыточных с точки зрения обеспечения теплотехнической безопасности. Так же отсутствует теоретически обоснованная методология для

разработки документов в области теплового сбережения при капитальном ремонте, особенно в части выбора наиболее целесообразных теплотехнических параметров утепления ограждающих конструкций стен зданий, с учетом регулирования тепловой энергии.

В связи с этим актуальной является разработка теоретических основ определения наиболее эффективных теплотехнических параметров утепления ограждающих конструкций зданий, учитывающих взаимосвязь с процессами регулирования энергетических ресурсов и использованием подхода реализации теплосберегающих мероприятий, оптимизацией тепловых технологических процессов.

Одной из задач поставленной наукой и практикой, в сфере жилищного фонда, является проблема сбережения энергетических ресурсов. Совершенствование существующих и внедрение новых методов определения оптимальных затрат, проведение активной энергосберегающей политики.

Основной задачей, для исследуемого объекта, является применение эффективного метода расчета, способствующего минимальным капиталовложениям и эксплуатационным расходам. Возможность решения данной задачи, позволит уменьшить затраты на энергетические ресурсы.

Для проведения исследований выбран объект административно-производственного назначения ФГУП «ФНПЦ «Прогресс» (рис. 1) [4]. Наружные стены выполнены из кирпича толщиной 640 мм. Чердачное перекрытие: пустотные плиты перекрытия с минераловатными плитами толщиной 60 мм и пароизоляцией. Сверху выполнено утепление из керамзита толщиной 180 мм. Оконные блоки и витражи выполнены из ПВХ-профилей с двухкамерными стеклопакетами. Полы здания – бетонные и предусмотрены непосредственно по грунту без дополнительной теплоизоляции. Входные двери – металлические, утепленные и из ПВХ-профилей с двухкамерными стеклопакетами.

Источником теплоснабжения является существующая котельная ООО «Омсктехуглерод». Тепло поступает на объект в виде горячей воды с расчетным температурным графиком 130/70 °С ( $T_1(\tau_1)/T_2(\tau_2)$ ). Ввод организован в тепловой пункт, где осуществляется автоматизация и коммерческий учет (рис. 2) [5].

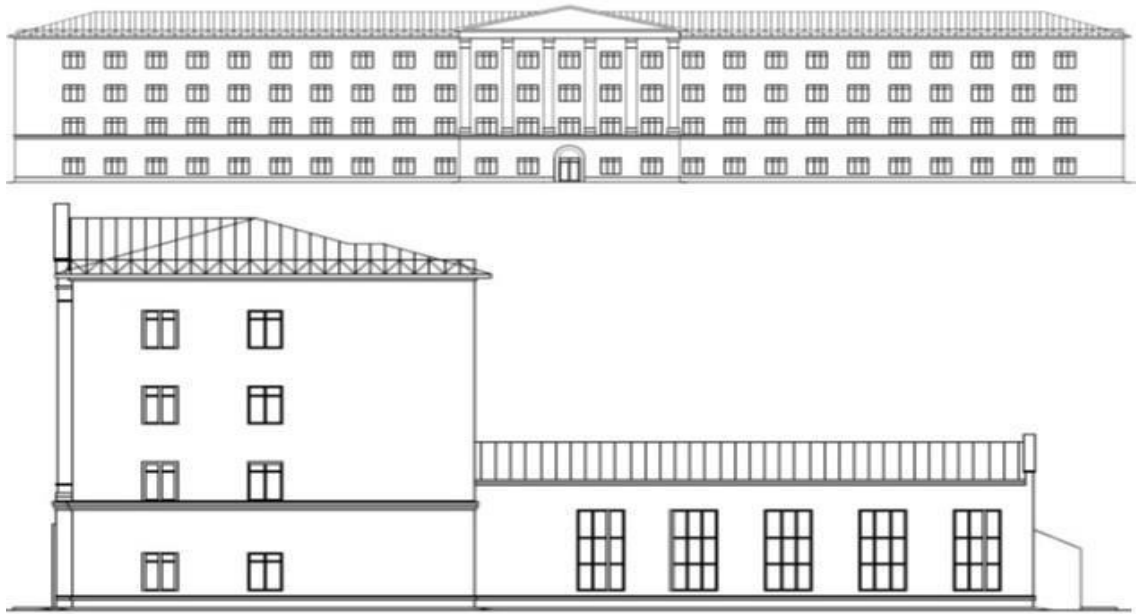


Рис. 1. Фасады здания

Значение оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией можно найти, исходя из минимума суммарных приведенных дисконтированных затрат на ограждающие конструкции стен здания  $I_{ст}$  [3], при приравнении к нулю частных зависимых от  $\delta_{ут}$  производных функции по оптимизируемому параметру, р./год:

$$\frac{dI_{ст}}{d\delta_{ут}} = (86400 \cdot z_{от} \cdot C_{т} + b) \cdot \frac{dQ_{ст}}{d\delta_{ут}} + (E_{ст} + H) \cdot \frac{dK_{ст}}{d\delta_{ут}} = 0. \quad (1)$$

где  $\delta_{ут}$  – толщина утепляющего слоя теплоизоляционного материала ограждающей конструкции стен здания, м;  $z_{от}$  – продолжительность отопительного периода, сут/год;  $C_{т}$  – средняя годовая стоимость тепловой энергии, р./Дж;  $b$  – комплекс величин;  $Q_{ст}$  – тепловые потери через наружные стены, Вт;  $E_{ст}$  – коэффициент эффективности инвестиций в утепление тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен зданий, 1/год;  $H$  – норма отчислений в относительных единицах на амортизацию и ежегодное обслуживание системы теплового потребления здания, 1/год;  $K_{ст}$  – капиталовложение в теплосберегающие мероприятия по утеплению тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен зданий, р.

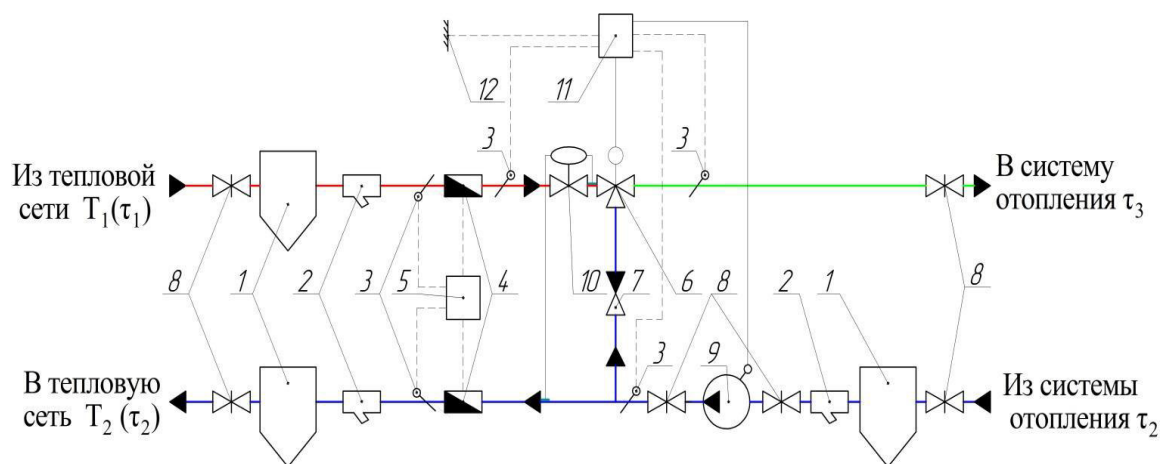


Рис. 2. Принципиальная схема автоматического теплового узла:

1 – грязевик; 2 – фильтр; 3 – датчик температуры; 4 – расходомер; 5 – тепловычислитель; 6 – трехходовой регулирующий клапан; 7 – обратный клапан; 8 – отключающая арматура; 9 – насосная группа; 10 – регулятор перепада давления; 11 – регулятор по температурам; 12 – датчик температуры наружного воздуха.

Решение уравнения (1) можно представить в виде [6]:

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} = -R_{\text{уст}} \cdot \lambda_{\text{ут}} + \sqrt{\frac{(86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot \Pi_{\text{т}} + b) \cdot \lambda_{\text{ут}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{от}}) \cdot n_i)}{r_0 \cdot \eta \cdot (E_{\text{ст}} + H) \cdot \Pi_{\text{ут}} \cdot F_{\text{ст}}}}, \quad (2)$$

$$b = \frac{\Pi_{\text{н}}^{\text{эл}} \cdot k \cdot H_{\text{н}} \cdot \gamma \cdot Z_{\text{н}} \cdot N_{\text{н}}^{\text{раб}}}{\rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (\tau_3 - \tau_2) \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{р}}}, \quad (3)$$

где  $\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}$  – оптимальная толщина утепляющего слоя теплоизоляционного материала стены здания, м;  $R_{\text{уст}}$  – установленное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции стен здания,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;  $\lambda_{\text{ут}}$  – теплопроводность утепляющего слоя теплоизоляционного материала ограждающей конструкции стен здания,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;  $F_{\text{ст},i}$  – площадь поверхности наружных ограждающих конструкций стен здания  $i$ -ой зоны помещения,  $\text{м}^2$ ;  $t_{\text{в},i}$  – расчетная температура внутреннего воздуха  $i$ -ой зоны помещения здания,  $\text{°C}$ ;  $n_i$  – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции стен здания по отношению к наружному воздуху;  $r_0$  – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции;  $\eta$  – коэффициент расхождения осредненности по площади условного сопротивления теплопередаче стен здания, при утеплении его снаружи теплоизоляционным материалом;  $\Pi_{\text{ут}}$  – стоимость  $1 \text{ м}^3$  утепляющего теплоизоляционного материала,  $\text{р.}/\text{м}^3$ ;  $F_{\text{ст}}$  – общая площадь поверхности наружных ограждающих конструкций

стен здания после утепления его тепловой изоляцией,  $\text{м}^2$ ;  $\text{Ц}_\text{н}^{\text{эл}}$  – средняя годовая стоимость электрической энергии потребления перекачивающим насосом,  $\text{р./Вт}\cdot\text{ч}$ ;  $Z_\text{н}$  – продолжительность работы насоса в течение суток,  $\text{ч}$ ;  $N_\text{н}^{\text{раб}}$  – число рабочих дней в году насосного оборудования,  $1/\text{год}$ ;  $k$  – коэффициент запаса;  $H_\text{н}$  – напор, развиваемый насосом,  $\text{м}$ ;  $\gamma$  – удельный вес перекачиваемой жидкости,  $\text{Н/м}^3$ ;  $\eta_\text{п}$  – коэффициент полезного действия передачи;  $\eta_\text{р}$  – коэффициент полезного действия насоса;  $\rho_\text{в}$  – плотность перекачиваемой жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $C_\text{в}$  – теплоемкость перекачиваемой жидкости,  $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{С}$ ;  $\tau_3$  – текущая температура перекачиваемой жидкости в подающем трубопроводе системы отопления,  $^\circ\text{С}$ ;  $\tau_2$  – текущая температура перекачиваемой жидкости в обратном трубопроводе системы отопления,  $^\circ\text{С}$ .

Численные исследования влияния изменения толщины теплоизоляционного материала с теплопроводностью  $0,04$  ( $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{С}$ ) на технико-экономическую эффективность, показали: снижаются затраты  $I_\text{ст}$  (рис. 3), тепловые потери через наружные стены  $Q_\text{ст}$  и расход тепловой энергии здания на отопление  $Q_\text{от}$  (рис. 4).

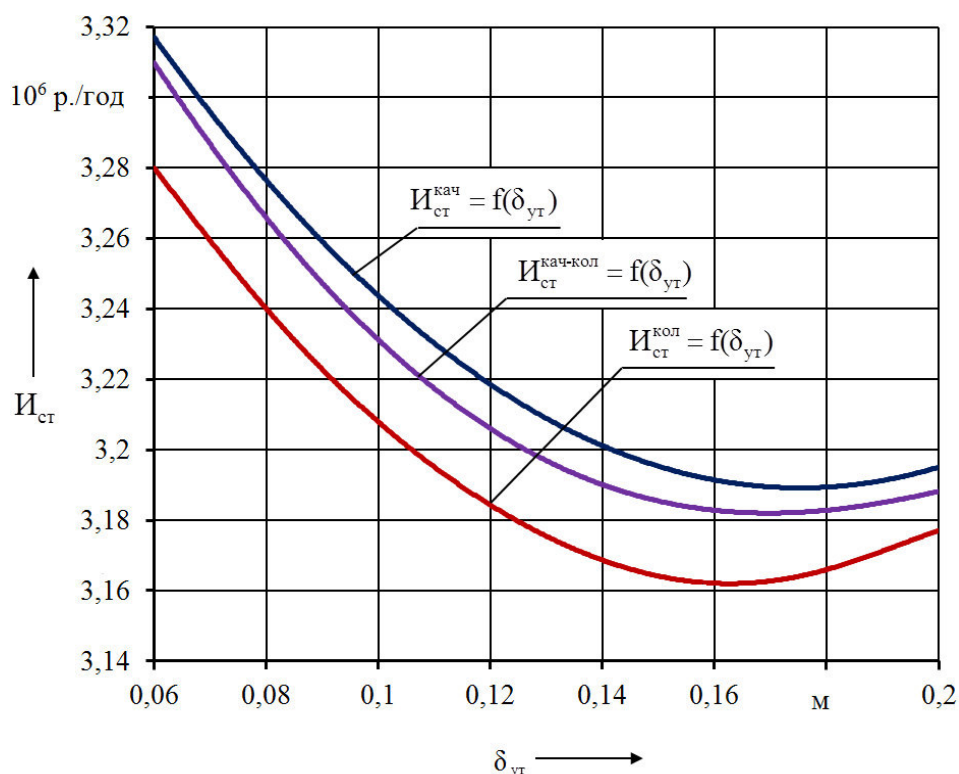


Рис. 3. Зависимость приведенных дисконтированных затрат от толщины утепляющего слоя тепловой изоляцией стен здания

Авторами приняты следующие обозначения:  $I_{ст}^{кач}$  – затраты по теплению наружных ограждающих конструкций стен здания при качественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, р./год;  $I_{ст}^{кач-кол}$  – затраты по утеплению наружных ограждающих конструкций стен здания при качественно-количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, р./год;  $I_{ст}^{кол}$  – затраты по утеплению наружных ограждающих конструкций стен при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, р./год.

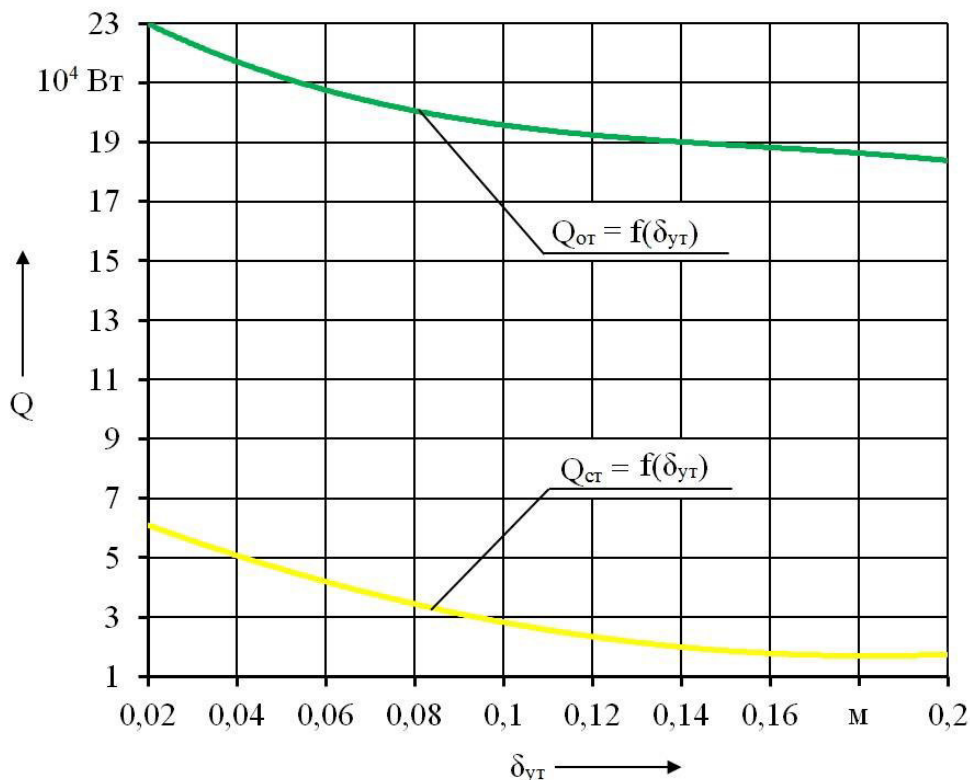


Рис. 4. Зависимости  $Q_{ст}$ ,  $Q_{от}$  от  $\delta_{ут}$

Результаты проведенных исследований подтверждают рациональность применения предложенных разработок: снижаются расход тепловых потерь через ограждающие конструкции, расход потребления тепловой и электрической энергии на систему отопления, приведенные затраты.

#### Список литературы

1. Законы. Российская Федерация. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 23.11.2009 года

№ 216. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978) (дата обращения: 22.03.2019).

2. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Н. И. Ватин, Д. В. Немов и др. // Инженерно-строительный журнал. – № 8. – 2012. – С. 4 – 14.

3. Петров, П. В. Оптимизация затрат на утепления тепловой изоляцией наружных стен зданий при проведении капитального ремонта / П. В. Петров, Е. М. Резанов // Актуальные вопросы энергетики: Материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омск, 2018. – С 45 – 48.

4. Проектная документация: проект Федеральное государственное унитарное предприятие «Федеральный научно-производственный центр «Прогресс», город Омск, Омская область – реконструкция и техническое перевооружение производственных фондов для обеспечения серийного производства всей номенклатуры резинокордных оболочек для комплектации заказов «Ясень-М» и «Борей» / 78-2012/М-АР «Архитектурные решения» // ООО «Омскпромпроект»: разработал: разработал Битейкин А. С. [и др.], согласовал Матвеев Л. Н. Омск: 2017, 90 с.

5. Проектная документация: проект Федеральное государственное унитарное предприятие «Федеральный научно-производственный центр «Прогресс», город Омск, Омская область – реконструкция и техническое перевооружение производственных фондов для обеспечения серийного производства всей номенклатуры резинокордных оболочек для комплектации заказов «Ясень-М» и «Борей» / 78-2012/М-ИОС4 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети» // ООО «Омскпромпроект»: разработал: разработал Битейкин А. С. [и др.], согласовал Матвеев Л. Н. Омск: 2017, 321 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Резанов Евгений Михайлович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: rezanov1@mail.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Rezanov Evgeniy Mikhailovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Heat power engineering", OSTU.

E-mail: rezanov1@mail.ru

**Петров Павел Владимирович**  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Сибирская проектная компания»  
Карла Либкнехта ул., д. 35, 644099, г. Омск,  
Российская Федерация.  
Заместитель директора по техническим  
вопросам ООО «СПК».  
E-mail: ppv55@mail.ru

**Petrov Pavel Vladimirovich**  
Limited Liability Company Siberian Design  
Company  
Russia, the city of Omsk, 644099, Karla  
Libknekhta street, 35  
Deputy Director for Technical Issues  
E-mail: ppv55@mail.ru

УДК 697.341

**Д. В. Жуков**

АО «Омские распределительные тепловые сети» (АО «Омск РТС»),  
г. Омск, Российская Федерация

## **О ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ В ДЕЙСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*В статье на примере действующей системы теплоснабжения АО «Омск РТС» показана проблема обеспечения регулирования отпуска тепловой энергии качественным способом и определена возможность для перехода на количественное регулирование. Представлены необходимые мероприятия по модернизации существующей системы теплоснабжения, а также основные результаты, которые могут быть достигнуты при изменении способа центрального регулирования.*

*Ключевые слова: тепловые сети, система теплоснабжения, регулирование отпуска тепловой энергии, энергосбережение*

**Denis V. Zhukov**

JSC Omskiye raspredelitelnye teplovye seti (JSC Omsk RTS), Omsk, Russian Federation

## **ABOUT THE POSSIBILITY OF QUANTITATIVE REGULATION THE MODES IN THE OPERATING SYSTEMS OF HEAT SUPPLY**

*The problem of ensuring regulation of a holiday of thermal energy is shown with a qualitative way in article on the example of the operating system of heat supply of JSC Omsk RTS and an opportunity for transition to quantitative regulation is defined. Necessary actions for modernization of the existing system of heat supply and also the main results which can be reached at change of a way of the central regulation are presented.*

*Key words: thermal networks, system of heat supply, regulation of a holiday of thermal energy, energy saving*

В отечественных системах централизованного теплоснабжения, как правило, применяется качественное регулирование отпуска тепловой энергии. Несмотря на основное преимущество качественного регулирования, выражающееся в условном постоянстве гидравлических режимов, данный способ регулирования имеет ряд недостатков:

- большое транспортное запаздывание (тепловая инерционность) регулирования тепловой нагрузки системы теплоснабжения;
- повышенная интенсивность коррозии трубопроводов при работе значительную часть отопительного периода с температурами теплоносителя 60...85 °С;
- снижение качества теплоснабжения из-за изменений температуры внутреннего воздуха при центральном регулировании температуры теплоносителя по усредненной температуре наружного воздуха, а также из-за влияния нагрузки ГВС на работу систем отопления;
- интенсивная работа компенсаторов из-за постоянных температурных удлинений трубопроводов [1].

В последнее время доля автоматизации тепловых нагрузок значительно увеличилась за счет применения автоматизированных ИТП (АИТП) на объектах нового строительства и за счет установки средств автоматического регулирования на действующих объектах теплоснабжения, что привело к необходимости изменения способа центрального регулирования. Фактически регулирование режимов работы тепловых сетей осуществляется качественно-количественным способом и имеет дальнейшую тенденцию к переходу на количественный способ, что не противоречит СНиП «Тепловые сети», которые регламентируют применение как качественного, так качественно-количественного и количественного центрального регулирования [2]. Возможность частичного перевода системы теплоснабжения АО «Омск РТС» на качественно-количественное регулирование было рассмотрено ранее в источниках [3, 4].

В крупных системах теплоснабжения тепловые сети, как правило, имеют недостаточную пропускную способность, особенно для перевода на количественное регулирование с понижением расчетной температуры

теплоносителя в подающей линии. В этой связи изменение способа регулирования в действующих системах централизованного теплоснабжения, изначально запроектированных на качественное регулирование, а также имеющих различные схемы присоединения и автоматизацию систем теплоснабжения, является актуальной задачей.

Опыт прохождения отопительных периодов показывает, что работа систем автоматического регулирования оказывает существенное влияние на режимы работы неавтоматизированных систем и, соответственно, на изменение температуры внутри помещений за счет изменения расходов теплоносителя и располагаемых напоров при изменении температуры наружного воздуха и/или температуры теплоносителя.

Массовое внедрение автоматизированных ИТП с погодным регулированием существенно меняет гидравлические режимы в системе теплоснабжения, особенно при работе в диапазоне «излома» температурного графика. Изменения расходов и напоров в широком диапазоне (до двух и более раз), что требует создание системы автоматизированного управления режимами системы теплоснабжения [5].

На рис. 1 показана зависимость допустимых отклонений температуры теплоносителя для различных долей автоматизации (применительно к структуре тепловых нагрузок АО «Омск РТС»), при которых влияние на температурный режим внутри отапливаемых помещений незначительно. При этом отклонение температуры зависит от нескольких факторов: гидравлической устойчивости, отклонения температуры от графика, степени автоматизации, структуры тепловых нагрузок системы теплоснабжения.

Система теплоснабжения АО «Омск РТС» включает в себя 5 тепловых источника, 14 подкачивающих насосных станций (ПНС), 57 центральных тепловых пунктов (ЦТП), более 13,5 тысяч индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), через которые присоединены системы теплоснабжения. Доля автоматизации тепловых нагрузок составляет 18%.

Частотно-регулируемым приводом напряжением 0,4 кВ оснащены сетевые насосы только пяти ПНС. В среднесрочной перспективе частотное регулирование будет внедрено на сетевых насосах еще трех ПНС. На остальных ПНС с электродвигателями напряжением 6 кВ необходимо внедрять гидромурфы, что потребует переустройство строительной части (расширение фундаментов) электронасосных агрегатов, здания и трубопроводов. На

объектах энергетики гидромурфы эксплуатируются в течение длительного времени и зарекомендовали себя с положительной стороны [6]. По сравнению с ЧРП высокого напряжения гидромурфы обладают рядом преимуществ: относительно низкая стоимость, условия эксплуатации и требования к температурному и влажностному режиму в производственных помещениях, отсутствие необходимости применения электродвигателей специального исполнения (с повышенным классом изоляции и подшипниками с изолированной наружной обоймой), большой срок эксплуатации, меньшие габариты.

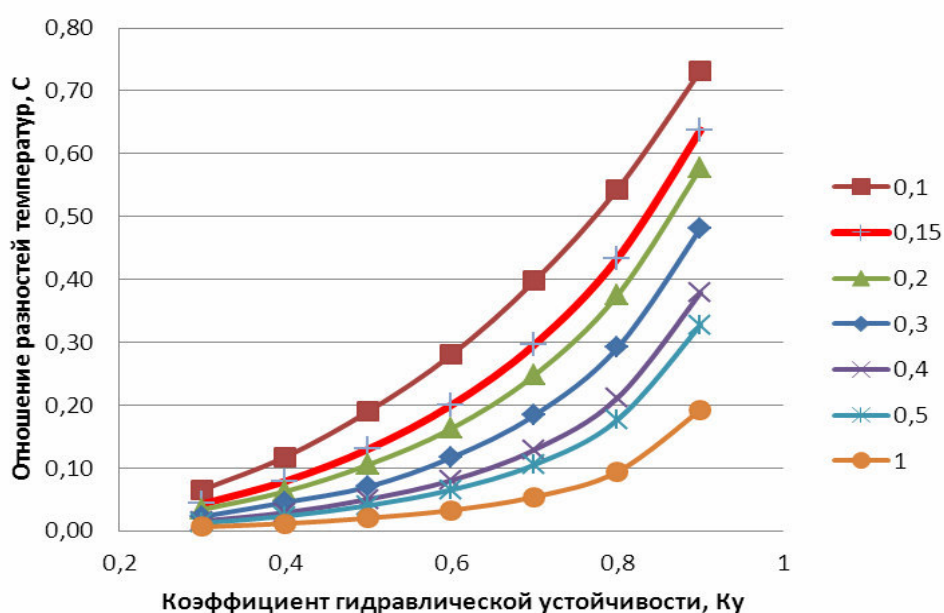


Рис. 1. Допустимые отклонения температуры теплоносителя при разной степени автоматизации (для структуры тепловых нагрузок АО «Омск РТС»)

Для осуществления перевода системы на количественное регулирование необходимо комплексное рассмотрение и решение задач по автоматизации управления режимами работы теплофикационных установок источников тепловой энергии, подкачивающих насосных станций и тепловых сетей:

1. Автоматизация всех систем теплоснабжения путем замены неавтоматизированных ИТП на АИТП.
2. Автоматизация ЦТП либо отказ от ЦТП с установкой АИТП, а также установка групповых ТПНС.
3. Внедрение частотно-регулируемых приводов сетевых насосов с электродвигателями 0,4 кВ на насосных станциях и ЦТП.

4. Внедрение гидромурфт сетевых насосов с электродвигателями 6 кВ на насосных станциях

5. Внедрение систем автоматического регулирования гидравлических режимов на источниках тепловой энергии.

6. Установка средств защиты от повышения давления, монтаж линий перетока с предохранительно-сбросными клапанами.

7. Разработка гидравлических режимов при различных расходах теплоносителя, определение допустимых параметров давления в местах регулирования.

8. Разработка алгоритмов изменения уставок и внедрение системы автоматического регулирования гидравлических режимов в системе теплоснабжения в зависимости от расхода теплоносителя и параметров давления в контрольных точках.

В результате реализации мероприятий могут быть получены следующие результаты:

- снижение расхода электроэнергии до 20%;
- снижение потерь тепловой энергии за счет снижения «перетопов» выше точки излома на 6%;
- повышение до 2 раз межремонтного периода трубопроводов подземной прокладки;
- повышение качества теплоснабжения с исключением перерасчетов и штрафов от надзорных органов.

Таким образом, тенденция по автоматизации тепловых нагрузок ведет к необходимости изменения регулирования режимов отпуска тепловой энергии. Для создания возможности перевода на центральное количественное регулирование в системе теплоснабжения АО «Омск РТС» требуется провести комплекс мероприятий по автоматизации управления режимами работы теплофикационных установок источников тепловой энергии, подкачивающих насосных станций и систем теплопотребления.

#### Список литературы

1. Шарапов, В. И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, П. В. Ротов. – М.: Издательство «Новости теплоснабжения», 2007. – 164 с.

2. Свод правил СП 124.13330.2012 «Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003». – М., ФАУ «ФЦС», 2012 – 74 с.

3. Жуков, Д. В. О возможности перевода системы теплоснабжения АО «Омск РТС» на качественно-количественное регулирование отпуска тепловой энергии / Д. В. Жуков // Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2018. – С. 40 – 45.

4. Жуков, Д. В. Перевод системы теплоснабжения на качественно-количественное регулирование с установкой групповых ТПНС / Д. В. Жуков // Актуальные вопросы энергетики: Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. технический ун-т. – Омск. – 2018. – С. 59 – 62.

5. Автоматическое управление оптимальными гидравлическими режимами системы теплоснабжения г. Набережные Челны / О. А. Черкасова, В. В. Малкин и др. // Новости теплоснабжения. – 2019. – №1 (217). – С. 21 – 25.

6. Ситас, В. И. Гидромуфта «Фойт» – конкурентоспособный регулируемый привод для энергетики / В. И. Ситас, А. Пешк, М. Рихтер // Энергетик. – 2005. – № 2. – С. 45.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

##### **Жуков Денис Владимирович**

АО «Омские распределительные тепловые сети» (АО «Омск РТС»).

644099, г. Омск, ул. Братская, 3а.

Кандидат технических наук, технический директор АО «Тепловые сети».

тел. +7 (3812) 944-150

E-mail: zhukovdv@omskrts.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

##### **Zhukov Denis Vladimirovich**

JSC Omskiye raspredelitelnye teplovyie seti (JSC Omsk RTS).

644099, Omsk, Bratskaya St., 3a.

Technical director of structural division "Thermal networks", Candidate of Technical Sciences.

ph. 7 (3812) 944-150.

E-mail: zhukovdv@omskrts.ru

**Р. С. Симак<sup>1</sup>, Н. Ю. Симак<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация.

<sup>2</sup>Омский автобронетанковый инженерный институт (ОАБИИ), г. Омск, Российская Федерация

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СФЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТАРИФОВ НА ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ**

*В статье рассматривается проблема повышения прозрачности тарифного регулирования в теплоэнергетике и предлагается решение данного вопроса на основе внедрения, разработанной авторами АИС «Котельная». Данная программа прошла апробацию в региональной энергетической комиссии Омской области и получила положительное заключение.*

*Ключевые слова: информатизация, теплоэнергия, тариф, энергетика.*

**Roman S. Simak<sup>1</sup>, Nadezhda Y. Simak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation.

<sup>2</sup>Omsk autoarmoured engineering institute (OABII), Omsk, Russian Federation

## **DIGITALIZATION IN THE SPHERE OF STATE REGULATIONS OF TARIFFS FOR THERMAL ENERGY**

*In article the problem of increase in transparency of tariff regulation in power system is considered and the solution of the matter on the basis of introduction, AIS "Boiler house" developed by authors is proposed. This program underwent approbation in the regional power commission of the Omsk region and received the positive decision.*

*Key words: informatization, heat power, tariff, power.*

Быстрое развитие информационных технологий является определяющим фактором научно-технического прогресса современного общества, что наглядно показано на следующем графике (рис. 1).

Данный график отражает динамику проникновения технологий в жизнь людей от момента их появления до становления общественно необходимыми. Так персональные компьютеры и интернет в несколько раз быстрее вошли в

обыденную жизнь нежели предыдущие изобретения, такие как автомобиль, телефон и электричество [2].

Поэтому в настоящее время информационные технологии составляют неотъемлемую часть процесса тарифного регулирования, органично вписываясь в национальный проект «Цифровая экономика Российской Федерации» [3]. Анализ успешной совместной работы авторов при создании программного обеспечения АИС «Котельная» (рис. 2) позволил сформировать подробный алгоритм создания программного продукта, имеющего потенциал применения как в учебном процессе так и в энергоснабжающих организациях и органах власти отвечающих за тарифное регулирование.

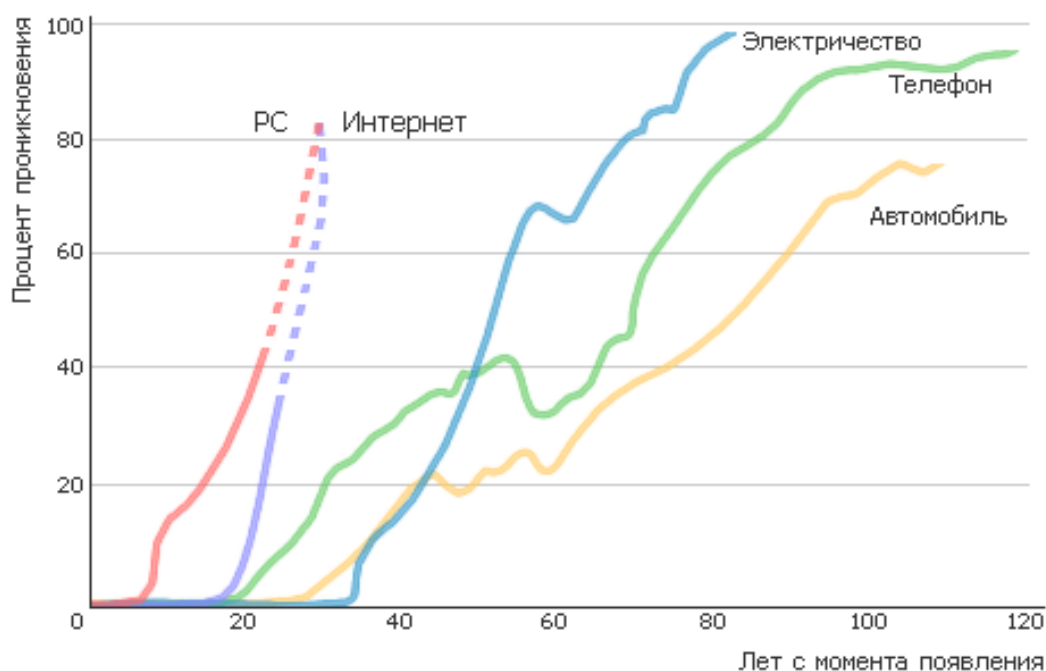


Рис. 1. Динамика проникновения изобретений в жизнь общества [1]

Программа «АИС Котельная» выполнена по Методическим указаниям по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий и предназначена для расчета топливных балансов ЭСО и защиты в РЭК.

На первом этапе для расчета потребности в тепловой энергии вводятся следующие исходные данные: характеристика объекта, состоящая из наименования, типа объекта, дополнительной информации, объема здания по проекту или данным БТИ, информации о годе постройки объекта, информации о климатических условиях месторасположения объекта.

Структура функционального блока программы для расчета потребности в тепловой энергии на планируемый период представлена на рис. 3.

Метод расчета отопительной нагрузки (отсутствует, определяется по проекту, по укрупненным показателям, по поверхности установленных приборов отопления), список помещений и приборов отопления, если отопительная нагрузка определяется по данному методу.

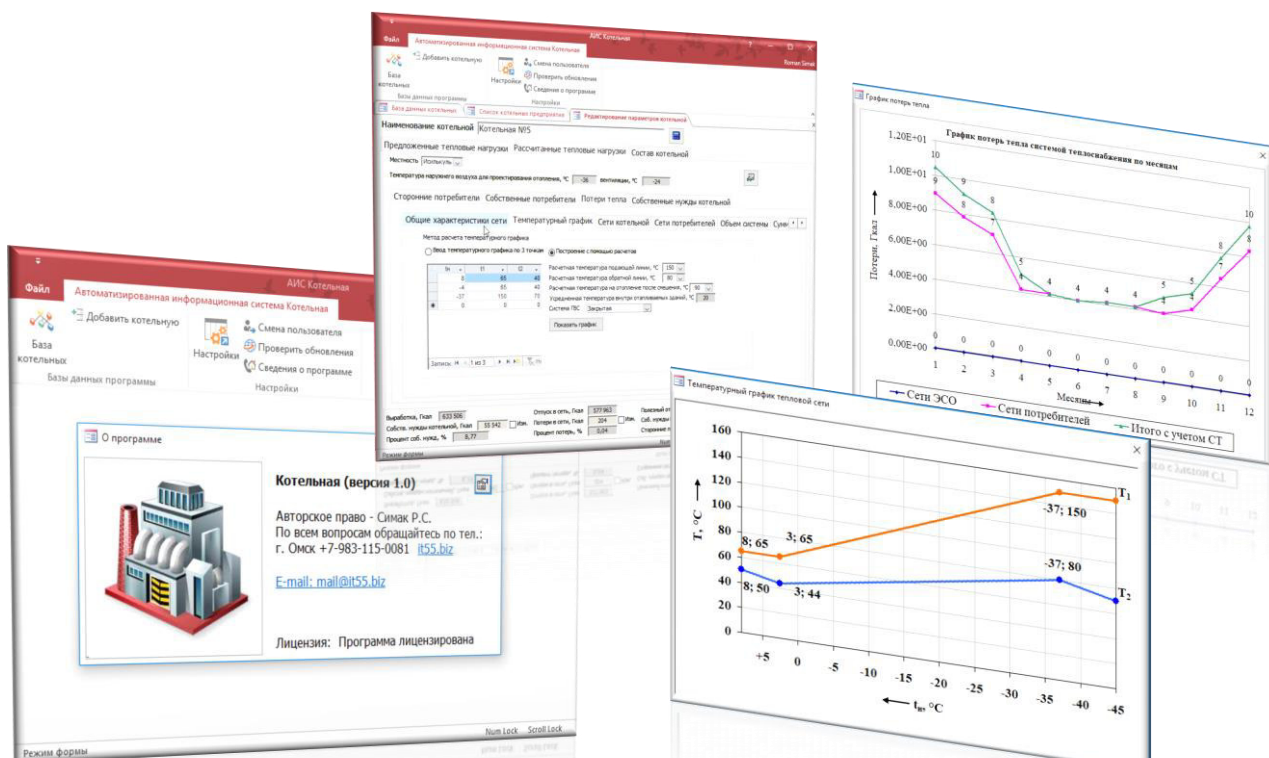


Рис. 2. Экранные формы программы АИС «Котельная»

Метод расчета вентиляционной нагрузки (отсутствует, определяется по проекту, по укрупненным показателям, по характеристикам установленных вентиляционных агрегатов), список вентиляционных агрегатов, если нагрузка определяется данным способом. Данные для расчета нагрузки ГВС, продолжительность функционирования систем ГВС, типы водопотребителей, тепловые потери трубопроводами ГВС (по характеристикам фактической сети ГВС или через коэффициент потерь), данные для расчета нагрузки в неотопительный период, коэффициент изменения нагрузки, температура воды и т.д.

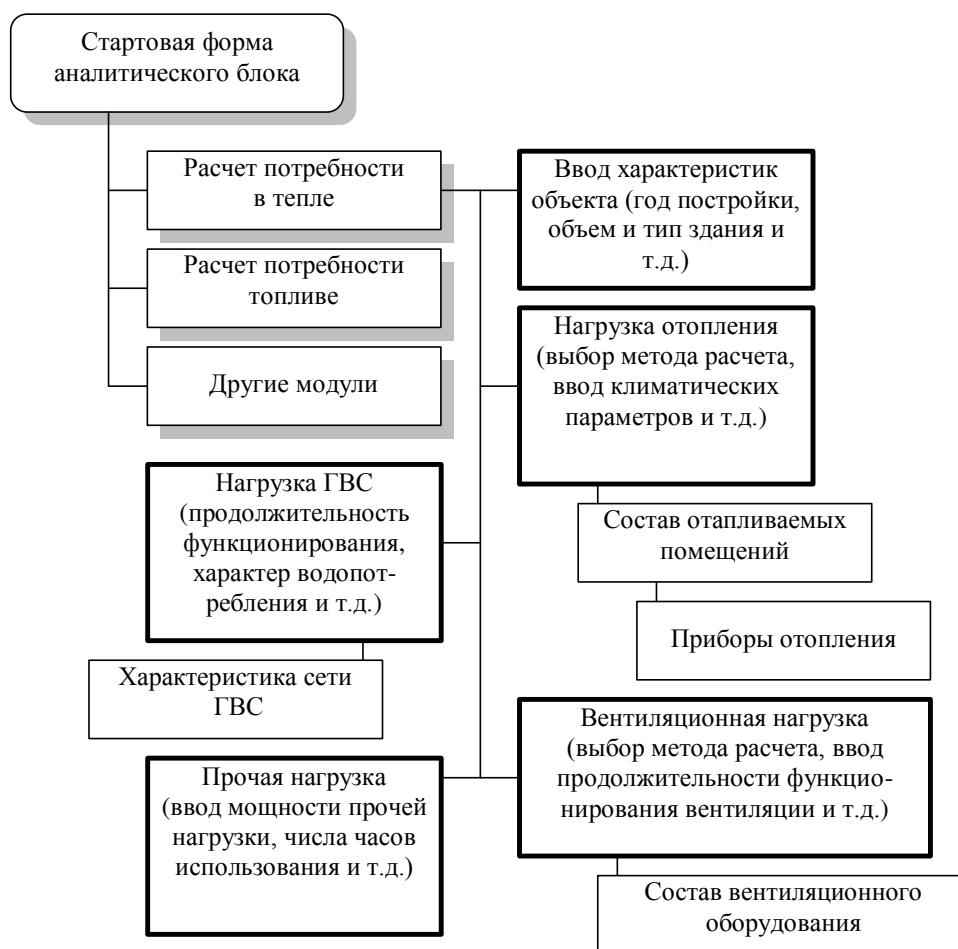


Рис. 3. Структурная схема функции по расчету потребности в тепловой энергии на планируемый период

Данные для расчета прочей нагрузки, ее величина, число часов использования, список типовых потребителей (например, теплицы или оранжереи). Расчет происходит автоматически после ввода исходных данных, если данных недостаточно, то выдается соответствующее сообщение

В программу заложен ряд форм и отчетов, например форма ввода параметров объекта тепловой нагрузки (рис. 4).

Таким образом, формируются предпосылки создания единого информационного пространства для производителей тепловой энергии и государственных органов, регулирующих тарифы.

**Тепловые нагрузки объекта**

Характеристика объекта: Отопление | Вентиляция | ГВС | Прочая нагрузка

Наименование объекта:

Тип объекта:

Дополнительная информация:

**Объем здания**

Объем здания по проекту или данным БТИ, м<sup>3</sup>:

Свободная высота здания, м (от уровня чистого пола I этажа до верхней плоскости теплоизоляционного слоя чердачного перекрытия, при крышах, совмещенных с чердачными перекрытиями, - до средней отметки верха крыши):

Определять объем как произведение площади горизонтального сечения здания на уровне его I этажа (над цокольным этажом) на свободную высоту здания

Площадь горизонтального сечения здания, м<sup>2</sup>:

В здании нет подвала

В здании существует отапливаемый подвал

Объем подвала, м<sup>3</sup>:  Высота подвала, м:

В здании существует не отапливаемый подвал

Здание закончено строительством, этот отопительный период является первым

Период окончания строительства:

Год постройки здания:

**Суммарные тепловые нагрузки**

|                                   |                                       |                                       |  |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Отопительная нагрузка, Гкал/ч     | <input type="text" value="5"/>        | <input type="text" value="13111,37"/> | Гкал                                     |
| Вентиляционная нагрузка, Гкал/ч   | <input type="text" value="33"/>       | <input type="text" value="182962,5"/> | Гкал                                     |
| Нагрузка горячего водосн., Гкал/ч | <input type="text" value="0,11106"/>  | <input type="text" value="897,9201"/> | Гкал                                     |
| Прочая нагрузка, Гкал/ч           | <input type="text" value="10,42977"/> | <input type="text" value="5364,166"/> | Гкал                                     |
| Итоговая нагрузка, Гкал/ч         | <input type="text" value="48,54083"/> | <input type="text" value="202336"/>   | Гкал <input checked="" type="checkbox"/> |

Рис. 4. Форма ввода характеристик объекта тепловых нагрузок

Данное обстоятельство должно способствовать повышению экономической обоснованности расходов, относимых на регулируемую деятельность, при установлении тарифов и привести к уменьшению выпадающих доходов и, соответственно, к снижению убытков энергоснабжающих организаций.

#### Список литературы

1. «Globalisation: The redistribution of hope». The Economist. 16 December 2010.
2. Левкин Г. Г. Направления создания и использования программных продуктов в производственной и учебной деятельности/ Г. Г. Левкин, В. Р. Глухих // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2016. – №12 (114). – С. 76 – 80.

3. <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/> - Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (дата обращения – 20.03.2019).

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Симак Роман Сергеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика транспорта, логистика и управление качеством», ОмГУПС.  
Тел.: (3812) 31-06-48.  
E-mail: mail@it55.biz

##### **Симак Надежда Юрьевна**

Омский автобронетанковый инженерный институт (ОАБИИ).  
644098, г. Омск, 14 военный городок, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики, ОАБИИ.  
Тел.: (3812) 31-06-48.

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Simak Roman Sergeevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Ph.D. in Economical Sciences, the senior lecturer of the department «Transport economics, logistics and quality management» OSTU.  
Phone: (3812) 31-06-48.  
E-mail: mail@it55.biz

##### **Simak Nadezhda Yurevna**

Omsk autoarmoured engineering institute (OABII).  
644098, Omsk, 14 military camp, Russian Federation.  
Candidate of Technical Sciences, associate professor of technical mechanics OABII.  
Ph.: (3812) 31-06-48.

УДК 697.7

#### **Д. М. Кузовов, Е. М. Резанов**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУПЕРАЦИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

*В статье рассмотрен один из вариантов использования теплового насоса в системе теплоснабжения здания. Предложен вариант использования теплоты вентиляционных выбросов для передачи их через тепловой насос системе отопления.*

*Ключевые слова: тепловой насос, рекуперация, вентиляционные выбросы, эффективность, неучтенное тепло.*

## **USE OF RECOVERY IN THE SYSTEMS OF HEAT SUPPLY WITH USE OF THERMAL PUMPS**

*In article one of options of use of the thermal pump in the system of heat supply of the building is considered. The option of use of warmth of ventilating emissions for their transfer via the thermal pump is offered a heating system.*

*Key words: thermal pump, recovery, ventilating emissions, efficiency, unaccounted heat.*

Системы, которые переносят тепло в обратном направлении, часто называют тепловыми насосами.

Тепловой насос, в самом простом своем исполнении, состоит из основных базовых элементов [5, с. 7]:

1) испаритель – теплообменный аппарат, передающий тепло от низкопотенциального источника к рабочему хладагенту;

2) компрессор – устройство, которое повышает давление, а вместе с тем и температуру этого хладагента;

3) конденсатор – теплообменный аппарат, в котором происходит теплопередача от хладагента к высокопотенциальному источнику;

4) дроссель – устройство, служащее для снижения давления и температуры хладагента перед испарителем.

В настоящее время при проектировании систем горячего водоснабжения (ГВС), водяного или воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования всё чаще используются тепловые насосы (ТН) в качестве источника тепловой или холодильной энергии.

Одним из направлений внедрения тепловых насосов при условии минимальных капитальных затрат и высокой экономической эффективности для потребителя может стать компенсация нагрузки отопления здания за счет тепла вентиляционных выбросов. Так как это неучтенное тепло имеет большой запас энергии, который выбрасывается в атмосферу. Оно может быть вторично использовано, что принесет выгоду потребителю.

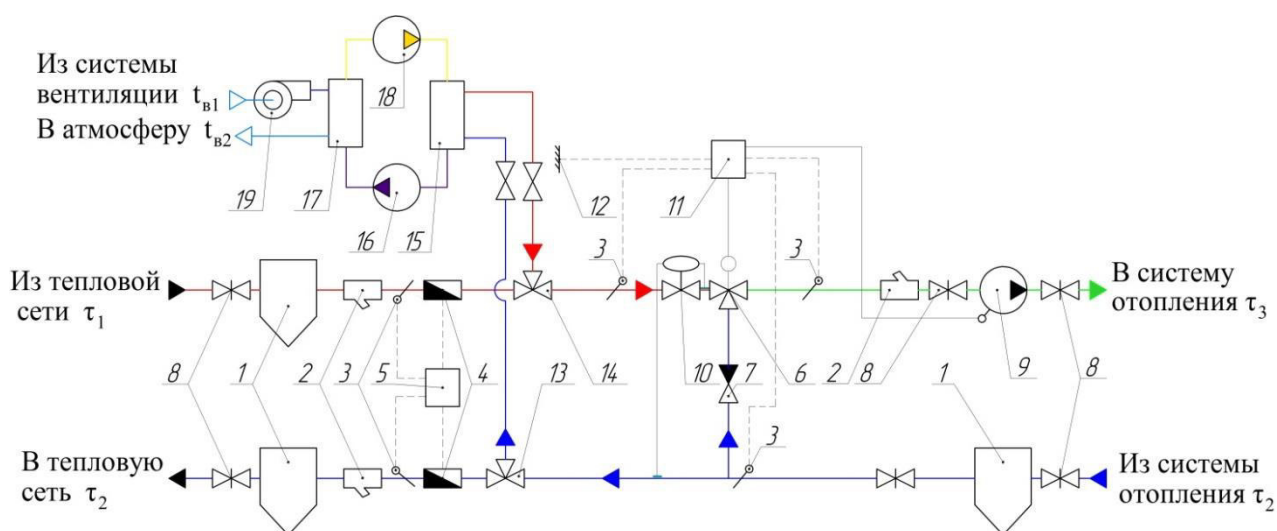


Рис. 1. Принципиальная схема автоматического теплового узла здания с тепловым насосом, работающим на вентиляционных выбросах:

1 – грязевик; 2 – фильтр; 3 – датчик температуры; 4 – расходомер; 5 – тепловычислитель; 6, 13, 14 – трехходовые регулирующие клапана; 7 – обратный клапан; 8 – отключающая арматура; 9 – насосная группа; 10 – регулятор перепада давления; 11 – регулятор по температурам; 12 – датчик температуры наружного воздуха; 15 – конденсатор; 16 – насос; 17 – испаритель; 18 – компрессор; 19 – вентилятор

При правильном проектировании можно достичь экономии электрической энергии в четыре раза. Что может позволить на 1 кВт потребленной электроэнергии получить 4 кВт тепловой энергии [2, с. 63].

Современная приточно-вытяжная вентиляционная установка с тепловым насосом обеспечивает максимальную готовность к монтажу, что требует лишь обвязать установку воздуховодами, подвести электропитание и подсоединить отвод конденсата. Управление системой осуществляется единой системой микропроцессорной автоматики с помощью встроенного блока управления и вынесенного удобного пульта, который можно монтировать в удобном для пользователя месте.

Предлагаемый возврат тепла вытяжного воздуха из системы вентиляции, например на производствах, где ежечасно многократно предусмотрен обмен воздуха из рабочей зоны по различным технологическим причинам может обеспечить революционную экономию тепловой энергии. Современная приточно-вытяжная установка с встроенным тепловым насосом способна возвращать до 55% тепловой энергии вытяжного воздуха, не допуская его смешивания с приточным, обеспечивая при этом необходимую кратность

воздухообмена.



Рис. 2. Установка для рекуперации тепловой энергии вентиляционных выбросов

Установки (рис. 2) изготавливаются в корпусе, который представляет собой силовой каркас обшитый листами оцинкованной стали. С внутренней стороны эти листы покрыты звукоизолирующим материалом из специального пенополистирола, а с наружной стороны установки, примыкающей к воздуховодам наружного и выбрасываемого воздуха, изолирующим материалом на основе вспененного каучука [3, с. 25].

За счет передачи тепла от удаляемого из помещения воздуха приточному с помощью теплообменных кассет теплообмен (рекуперация) происходит без физического смешивания встречных потоков воздуха. Движение в этих кассетах – перекрёстное.

Основным показателем оценки эффективности работы теплового насоса является коэффициент трансформации – COP (коэффициент преобразования или тепловой коэффициент). Значение этого коэффициента показывает во сколько раз тепловой насос производит больше энергии, чем потребляет сам, другими словами он определяет разницу между производимой и потребляемой тепловым насосом энергией.

Наиболее распространенной формулой расчета коэффициента COP является отношение теплопроизводительности и потребляемой мощности.

$$\varphi = \frac{Q_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}}}{L_{\text{компр}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}}$  – теплота, отводимая от конденсатора ТН, МВт;

$L_{\text{компр}}$  – работа, совершаемая компрессором ТН, МВт.

Преимущества воздушных тепловых насосов [4, с. 15]:

1) Экономичность. Достигается это за счет того, что затраченная энергия для работы системы рекуперации используется максимально эффективно.

2) Доступность. Для установки теплового насоса в паре с рекуператором можно использовать практически любой воздуховод.

3) Экологичность. Рекуперация – экологически чистый процесс. В тепловых насосах в качестве хладагента используются озонобезопасные фреоны, без содержания хлоруглеродов.

4) Универсальность. Эти реверсивные устройства способны не только рекуперировать тепло из вытяжного воздуха и использовать его для повторного обогрева здания, но и осуществлять функции кондиционера, охлаждая помещения, за счет перемещения на улицу с воздухом избыточного тепла.

5) Безопасность. Отсутствие высоких температур, применения какого-либо топлива, а также открытого огня позволяет говорить о повышенной взрыво- и пожаробезопасности. Работая, как обычный холодильник, он настолько же безопасен.

На территории Омска и Омской области к 2018 году установлены и успешно эксплуатируются уже 12 источников тепла на базе тепловых насосов, преимущественно грунтовых, мощностью от 9 до 60 кВт.

Воздушные тепловые насосы, применяемые для рекуперации тепловой энергии - отличный способ экономии денег. С каждым годом систем с термодинамической рекуперацией (совмещение рекуператора с тепловым насосом) становится все больше благодаря их высокой эффективности, надёжности, простоте монтажа и конечно же безопасности.

Использование тепловой энергии уходящих вентиляционных выбросов – одно из мероприятий способствующее повышению тепловой эффективности работы систем теплоснабжения. Однако это ведет к увеличению затрат, поэтому целесообразно получить оправданный коэффициент трансформации.

Значение оптимального коэффициента трансформации можно найти, исходя из минимума суммарных дисконтированных затрат на тепловой насос и количества получаемой тепловой энергии в балансе системы отопления, при

приравнянии к нулю частных производных функции по оптимизируемому параметру, руб./год:

$$\frac{dI}{d\varphi} = C_{\text{т}} \cdot \frac{dQ}{d\varphi} + C_{\text{п}} \cdot \frac{dF}{d\varphi} = 0, \quad (2)$$

где  $I$  – суммарные капитальные вложения по тепловому насосу и количеству получаемой тепловой энергии, р./год;  $C_{\text{т}}$  – годовая стоимость тепловой энергии,  $\frac{\text{руб.}}{\text{кал}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{год}}$ ;  $Q$  – расход тепловой энергии, кал/с;  $C_{\text{п}}$  – годовая стоимость 1 м<sup>2</sup> поверхностей теплообмена теплового насоса, руб./(м<sup>2</sup>·год);  $F$  – поверхность теплообмена конденсатора, м<sup>2</sup>.

#### Список литературы

1. Губина И. А., Горшков А. С. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 209–219.
2. Миронов Е. Б., Шишарина А. Н. Анализ приточно-вытяжных установок с рекуперацией тепла // Вестник НГИЭИ. 2014. № 12(43). С. 58–64.
3. Воздушное отопление и кондиционирование. Использование воздушных тепловых насосов // Тепловые насосы. 2014. № 6 (15). С. 25–29.
4. Исследование и разработка систем энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Объединенный институт высоких температур РАН. – М., 2007.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

##### **Кузовов Дмитрий Михайлович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Магистр кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

##### **Резанов Евгений Михайлович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.  
E-mail: rezanove1@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

##### **Kuzovov Dmitry Mikhaylovich**

Omsk State Transport University (OSTU)  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Graduate student of «Heat power engineering» OSTU.

##### **Rezanov Evgeniy Mikhailovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Candidate of Technical Sciences, Associate professor of "Heat power engineering" OSTU.  
E-mail: rezanove1@mail.ru

**Д. А. Муравьев**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

## **СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА**

*В процессе ремонта теплоэнергетического оборудования нередко возникают сложности с соблюдением сроков и качества выполнения работ. Для достижения абсолютной управляемости всеми процессами ремонта, оптимизации производственных процессов и своевременного реагирования на изменения в «людских ресурсах» и качестве поставляемого сырья, материалов и запасных частей, руководителю поможет сетевой график планирования и управления работами.*

*Ключевые слова: теплоэнергетика, ремонт оборудования, надежность.*

**Denis A. Muravyev**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **NETWORK PLANNING OF REPAIR OF THE BOILER UNIT**

*In the course of repair of the heat power equipment quite often there are difficulties with observance of terms and quality of performance of work. For achievement of absolute controllability all processes of repair, optimization of productions and timely response to changes in "human resources" and quality of the delivered raw materials, materials and spare parts, the head will be helped by the network schedule of planning and management of works.*

*Key words: power system, repair of the equipment, reliability.*

Системы, основанные на использовании так называемых сетевых графиков, или моделей, и электронно-вычислительной техники, впервые появились в США в период 1956-1958 гг. [1].

Следует отметить, что в России большинство публикаций по сетевому планированию были созданы в шестидесятых – семидесятых годах прошлого столетия.

Различают следующие модели графиков выполнения работ: линейные календарные графики или ленточные диаграммы Ганта, вертикальные графики

(циклограммы), матрицы, сетевые графики.

Сетевое планирование управления (СПУ) основано на графическом изображении определенного комплекса работ, которое отражает их логическую последовательность, взаимосвязь и длительность с последующей оптимизацией разработанного графика. Основными объектами использования СПУ являются: целевые разработки сложных проектов, в выполнении которых принимает участие большое количество исполнителей, например, ремонт сложной техники, материально-техническое снабжение, строительство новых, реконструкция и ремонт действующих промышленных предприятий и гражданских объектов [3].

В основу построения сетевого графика заложены четыре основных понятия: работа, событие, путь и резерв.

Работа – четко определенный этап трудового процесса, требующий затрат времени и ресурсов. На сетевом графике работа изображается сплошной линией со стрелкой (рис. 1, а), вычерченной без масштаба. Над линией или под ней пишут наименование работы, с другой стороны линии условным кодом записывают характеристику работы. Расшифровка кода приведена на рис. 1, б, на котором обозначено буквами: д – продолжительность в рабочих днях данной работы в первой смене; е – то же во второй смене; ж – то же в третьей смене; з – число рабочих в первой смене; и – то же во второй смене; к – то же в третьей смене. Запись на рисунке 1, а читается так: правка труб средней радиационной части длится 8 дней и выполняется тремя рабочими во вторую смену.



Рис. 1. Изображение работы на сетевом графике:

а – общий вид, б – условное обозначение (код) записи продолжительности работы, количества рабочих и номера рабочей смены

Рассмотренный термин «работа» обозначает активную работу, на которую затрачиваются время и ресурсы. Кроме того, имеются два дополнительных термина: ожидание (на него затрачивается только время);

фиктивная работа или зависимость (обозначает зависимость начала одной или нескольких работ от окончания предыдущей или предыдущих работ).

Событие – это результат одной работы или совокупный результат нескольких работ, позволяющий начать одну или несколько следующих работ. Событие обозначается кругом (рис. 2). Сетевой график представляет собой комбинацию кругов и линий со стрелками, ориентированных слева направо. Каждое событие нумеруют.

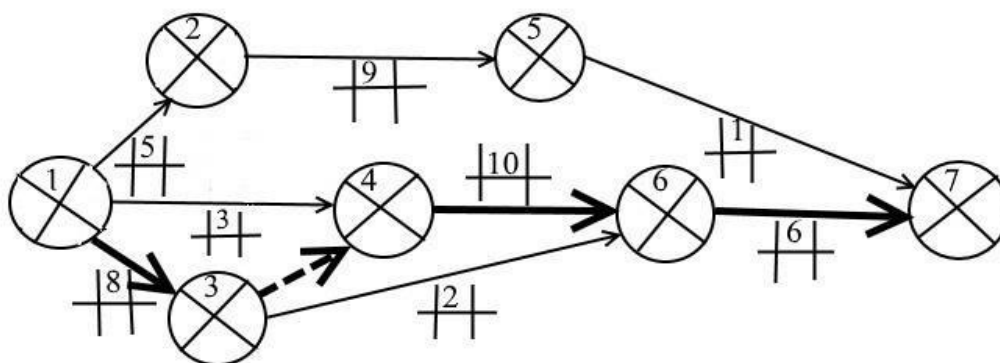


Рис. 2. Сетевой график СПУ, состоящий из семи событий

Круг каждого события делят на четыре равные части и кодируют параметры события (рис. 3): в – номер данного события, г – номер события, от которого сделан отсчет, д – наиболее раннее свершение данного события, е – наиболее позднее его свершение.



Рис. 3. Условное обозначение надписей на событии

Событие, в отличие от работы, не является процессом, оно не имеет длительности. Каждое событие должно быть четко сформулировано и указывать на конкретный результат работы.

В сетевом графике всегда имеются два особых события: исходное и завершающее. На рисунке 2 исходное событие обозначено цифрой 1, а завершающее – цифрой 7. Любая последовательность работ, в которой конечное событие каждой работы совпадает с начальным событием следующей

за ней работы, называется путем сетевой модели.

Путь сетевой модели от исходного до завершающего события называется полным путем. Полный путь сетевого графика, имеющий наибольшую продолжительность, называется критическим путем.

Критический путь в сетевом графике в наглядной форме показывает ту последовательность работ, которая определяет общие сроки их выполнения. В этом заключается большое преимущество сетевого графика перед графиками других типов. Это особенно важно при выполнении сложных работ, осуществление которых зависит от десятков и сотен операций, выполняемых рабочими различных профессий, находящимися в подчинении многих организаций [2].

При составлении плана разработки сетевого графика и выполнении ремонта одной из главных задач является изыскание методов сокращения продолжительности работ, находящихся на критическом пути. За выполнением этих работ устанавливают тщательный контроль.

Основными параметрами сетевой модели, кроме критического пути, являются резервы времени свершения событий. Резервы времени существуют в сетевом графике во всех случаях, когда имеется более одного пути разной продолжительности [1]. Определение величин резервов времени и рабочей силы является одной из основных целей создания сетевых графиков, так как позволяют руководителю комплекса работ оперативно реагировать на необходимость «маневрирования» этими ресурсами в интересах соблюдения общего предельно допустимого срока выполнения работ.

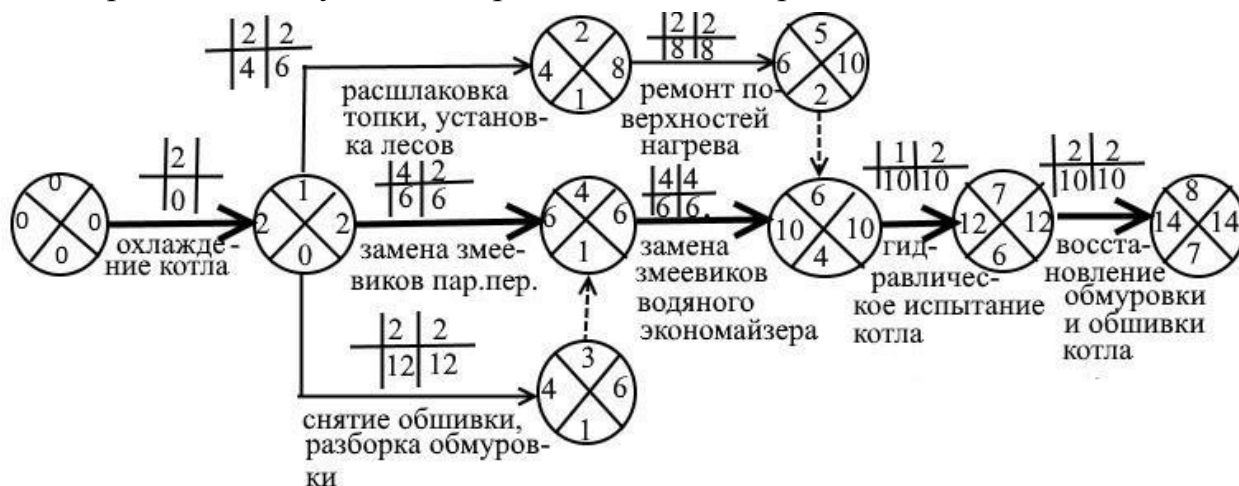


Рис. 4. Часть сетевого графика на ремонт элементов поверхностей нагрева котла БКЗ-75-ЗЭФБ.

На рис. 4 отображена часть сетевого графика ремонта котла БКЗ-75-ЗЭФБ, позволяющая на основании этого графика составить таблицу, содержащую результаты вычисления резервов времени и рабочей силы для каждой работы, для каждого пути сетевого графика.

Исходя из представленного графика, критический путь состоит из работ, лежащих на пути 0-1-4-6-7-8, так как этот полный путь имеет наибольшую продолжительность по времени – 14 дней. На сетевом графике критический путь выделяется полужирной линией.

После определения критического пути появляется возможность выполнения необходимых вычислений, в том числе вычисление резервов, результаты которых представлены в таблице № 1.

В указанной таблице в первом столбце указаны номера работ. В остальных столбцах приведены основные характеристики для каждой работы:

$t_{i-j}$  – продолжительность отдельных видов работ;

$t_{i-j}^{PH}$  – раннее начало работ;

$t_{i-j}^{PO}$  – раннее окончание работ;

$t_{i-j}^{ПН}$  – позднее начало работ;

$t_{i-j}^{ПО}$  – позднее окончание работ;

$R_{i-j}$  – общий резерв времени работ;

$r_{i-j}$  – частный резерв времени каждой работы;

$T_{крит.}$  – продолжительность критического пути [3].

Таблица 1

Расчет основных параметров сетевого графика.

| Работа | $t_{i-j}$ | $A_{i-j}$ | $t_{i-j}^{PH}$ | $t_{i-j}^{PO}$ | $t_{i-j}^{ПН}$ | $t_{i-j}^{ПО}$ | $R_{i-j}$ | $r_{i-j}$ | $T_{крит.}$ |
|--------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-------------|
| 0-1    | 2         | 0         | 0              | 2              | 0              | 2              | 0         | 0         | 14          |
| 1-2    | 2         | 10        | 2              | 4              | 6              | 8              | 4         | 0         | 14          |
| 1-3    | 2         | 24        | 2              | 4              | 4              | 6              | 2         | 0         | 14          |
| 1-4    | 4         | 12        | 2              | 6              | 2              | 6              | 0         | 0         | 14          |
| 3-4    | 0         | 0         | 4              | 6              | 6              | 6              | 2         | 0         | 14          |
| 2-5    | 2         | 16        | 4              | 6              | 8              | 10             | 4         | 0         | 14          |
| 4-6    | 4         | 12        | 6              | 10             | 6              | 10             | 0         | 0         | 14          |
| 5-6    | 0         | 0         | 6              | 6              | 10             | 10             | 4         | 0         | 14          |
| 6-7    | 2         | 20        | 10             | 12             | 10             | 12             | 0         | 0         | 14          |
| 7-8    | 2         | 20        | 12             | 14             | 12             | 14             | 0         | 0         | 14          |

Таблица рассчитана применительно к части сетевого графика, изображенного на рис. 4.

$$t_{i-j}^{\text{пн}} = t_{i-j}^{\text{по}} - t_{i-j}$$

$$t_{i-j}^{\text{по}} = t_{i-j}^{\text{пн}} + t_{i-j}$$

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{\text{пн}} - t_{i-j}^{\text{пн}}$$

$$r_{i-j} = t_{j-k}^{\text{пн}} - t_{i-j}^{\text{по}}$$

Из данных, рассчитанных и приведенных в таблице, следует, что при выполнении работ на участках пути 1-2, 1-3, 3-4, 2-5, 5-6 имеются общие резервы в днях, которые руководитель может использовать посредством перемещения рабочей силы на другие участки пути или увеличения количества времени выполнения отдельных работ с целью соблюдения общей установленной продолжительности выполнения работ.

Анализируя изложенное, можно сделать вывод, что сетевое планирование управления достаточно результативно. При использовании сетевого графика выполнения работ как исполнители работ, так и руководители имеют в достаточно компактном виде всю информацию о целях, содержании и установленных сроках на каждом участке пути.

Необходимо упомянуть также понятие оптимизации сетевого графика. Но эта тема, с учетом ее объема, для написания отдельного исследования. Ограничимся высказыванием о том, что оптимизация сетевых графиков способствует более равномерному соблюдению сроков выполнению работ, а также более оптимальному использованию сырья, ресурсов и материалов.

#### Список литературы

1. Сетевые графики в планировании. Учебное пособие/ И. М. Разумов, Л. Д. Белова и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981.
2. Сетевое планирование и управление при ремонте локомотивов – под общей редакцией А.И. Тищенко. – М. – 1968.
3. Сетевое планирование в ремонтно – эксплуатационном и машиностроительном производстве: Метод. указ. к выполнению заданий практических занятий и самостоятельной работы / Е. О. Юркова, О. А. Шаламова и др. – Новосибирск: Изд-во СГУПСА. – 2010.
4. Кукушкин, В. А. Календарное планирование строительства на основе компьютерных технологий / В. А. Кукушкин, Т. Ф. Морозова, Т. Л. Симанкина.

– СПб. – 2016.

5. Карл Четфилд, Тимоти Джонсон Microsoft Project. – М. – 2013.

6. Постовалова И. П. Структурная оптимизация сложных сетевых проектов: Дис... канд. физ. – мат. наук: 05.13.18. – Челябинск, 2005.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Муравьев Денис Александрович**  
Омский государственный университет  
путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,  
Российская Федерация.  
Магистр кафедры «Теплоэнергетика»  
ОмГУПС.  
E-mail: denis.mur.55@mail.ru

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Muravyev Denis Aleksandrovich**  
Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian  
Federation.  
Graduate student of «Heat power  
engineering» OSTU.  
E-mail: denis.mur.55@mail.ru

УДК 621.1574

**Д. Ю. Антипина, А. В. Бауэр, А. Ю. Финиченко**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

### **МЕТОДИКА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ КОТЛОАГРЕГАТОВ**

*В статье рассмотрен способ очистки газовых выбросов каталитическим методом. Каталитическая очистка газов заключается в обезвреживании газовых выбросов путем химического превращения вредных веществ, содержащихся в газе в присутствии катализатора. Суть каталитического процесса очистки газовых выбросов заключается в том, что газовый поток пропускают через слой катализатора, соблюдая технологические условия эффективного превращения.*

*Ключевые слова: выбросы, котельная, каталитический способ очистки газов, катализатор.*

**Aleksandra Y. Finichenko, Darya Y. Antipina, Anastasia V. Bauer**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

### **METHOD OF CLEANING OF GAS EMISSIONS OF THE BOILER HOUSE OF INSTALLATION**

*In article the way of cleaning of gas emissions by a catalytic method is considered. Catalytic*

*purification of gases consists in neutralization of gas emissions by chemical transformation of the harmful substances which are contained in gas in the presence of the catalyst. The essence of catalytic process of cleaning of gas emissions is that the gas stream is passed through a catalyst layer, meeting technological conditions of effective transformation.*

*Key words: emissions, boiler house, catalytic way of purification of gases, catalyst.*

Выбросы загрязняющих веществ – это различные разновидности отходов, попадающие в окружающую среду в результате жизнедеятельности человека.

При сжигании органического топлива и образуется основная доля вредных веществ. В большинстве случаев, выброс происходит через дымовую трубу в атмосферу следующих продуктов сгорания: частицы недогоревшей угольной пыли, коксовые остатки, зола и сажа; нетоксичные газы, которые создают «парниковый» эффект (диоксид углерода  $CO_2$ ); токсичных газов (оксид углерода  $CO$ , оксиды серы  $CO_2$ ,  $CO_3$ , оксиды азота  $NO$ ,  $NO_2$ ); диоксинов и сложных полициклических ароматических углеводородов; паров соляной и плавиковой кислот; металлов (мышьяк, кадмий, железо и др.); соединений кремния, алюминия, железа, кальция и др.; сульфатов, нитратов, аммиака некоторых органических соединений; радионуклидов, тория, калия, фосфора; формальдегидов; сероводорода.

Чтобы оценить влияние и ограничения вредного воздействия предприятий теплоэнергетики на атмосферный воздух, нужно проводить расчет, а также нормирование выбросов таких веществ, которые содержатся в продуктах сгорания:

– При сжигании газообразного топлива. Например, оксидов азота  $NO$ ,  $NO_2$ , также оксидов углерода  $CO$ ,  $CO_2$  и бенз(а)пирена  $C_{20}H_{12}$ , но и возможно содержание в составе топлива соединений серы диоксида серы  $SO_2$ ;

– При сжигании твердого топлива к выше перечисленным веществам можно добавить оксид серы  $SO_2$  и твердые частицы, а при сжигании мазута – оксид серы  $SO_2$  и мазутная зола.

Выделяют три источника образования оксидов азота:

– из азота, при низкой температуре (меньше  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ) в основной зоне горения;

– из молекулярного азота воздуха при температуре выше  $1300\text{ }^\circ\text{C}$ ;

– путем реакции молекулярного азота воздуха с углеводородными радикалами при температуре около  $1300\text{ }^\circ\text{C}$ , эта реакция происходит в зоне фронта пламени углеводородного топлива.

Также при сгорании органического топлива, можно выделить монооксид  $NO$  и диоксид азота  $NO_2$ . Например, при горении топлива выделяется 95 – 99 % монооксида азота  $NO$  и 1 – 5 % диоксида азота  $NO_2$ , который более токсичный.

Все выбросы оксида серы при оценке загрязнения определяются как  $SO_2$ , т.к. вся часть серы при сжигании окисляется до диоксида серы  $SO_2$ , а остальная – до триоксида  $SO_3$ .

Можно отметить, что особое место, среди вредных компонентов дымовых газов, занимает группа полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Они обладают мутагенной активностью, так же участвуют при образовании химического смога и даже накапливаются в живых организмах. Образование этих молекул обуславливается тем, что в результате неполного сгорания углеводородных видов топлива из-за торможения реакции окисления углеводородов топлива холодными стенками топочных устройств, а также при смешении топлива и воздуха [1].

Химические реакции, протекающие между ингредиентами газовых выбросов, значительно ускоряются с увеличением температуры.

Систему, которая содержит токсичные вещества, можно обезвредить термообработкой в том случае, если реакции, протекающие в ней, приведут к появлению менее токсичных веществ.

Термоокисление газообразных загрязнителей обычно происходит в двух фазах: газовая (в объеме) или на границе раздела фаз (на поверхности). В первом случае процесс осуществляют сжиганием в пламени выбросов при температурах, которые превышают температуру воспламенения горючих компонентов газовых выбросов. Для того чтобы запустить процесс окисления во втором случае, нужно использовать катализаторы. Катализаторы – конденсированные вещества, которые способны за счет поверхностных частиц ускорять окисление загрязнителя при температурах ниже температуры воспламенения.

Для очистки вентиляционного воздуха и газов от вредных веществ, таких как, например, оксид углерода, пары летучих растворителей, азота, применяются каталитические и термокаталитические методы газоочистки.

В основном катализатором являются металлы и их соединения, переходные металлы и их соединения (оксид меди, диоксид марганца). Также могут добавляться промотированные катализаторы; в их состав помимо соединений переходных металлов вводится в небольшом количестве ( $< 0,1$  %) благородные металлы.

Для протекания каталитического процесса нужны небольшие количества катализатора, который расположен так, чтобы создать максимальную поверхность контакта с газовым потоком.

В промышленности применяется метод каталитического сжигания токсичных органических веществ, находящихся в газовых отходах. В данном случае процесс происходит при 200...300 °С. Этот диапазон температур гораздо меньше температуры обезвреживания при прямом сжигании в печах.

Схема установки каталитического сжигания выбросов содержащих пары органических веществ, приведена на рис. 1.

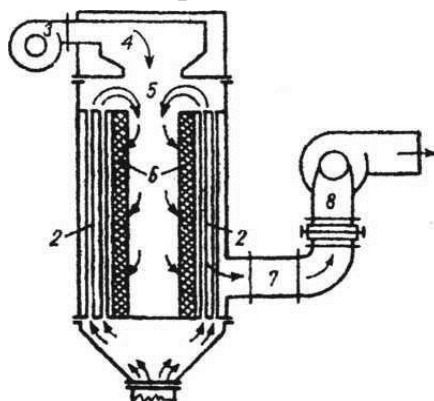


Рис. 1. Схема установки каталитического сжигания газовых отходов:  
1 – распределитель; 2 – теплообменник; 3 – вентилятор; 4 – камера сгорания; 5 – камера смешения; 6 – катализатор; 7 – газоход; 8 – регулировочный шибер

Для расчета реакторов используются идеализированные модели уравнений. Выделяется 3 типа идеальных реакторов: периодический полного смешения, проточный идеального вытеснения и проточный полного смешения [2].

Если известна удельная поверхность частиц катализатора  $s_0$  ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ ), то кинетическое уравнение для проточных реакторов вытеснения примет вид:

$$u = \frac{dG}{d\tau} = k V_{\text{кат}} s_0 \Delta \quad (1)$$

где  $u$  – скорость каталитического процесса, кг/с (кмоль/с);  $G$  – количество удаляемого компонента, кг (кмоль);  $\tau$  – время, с (ч);  $k$  – общая константа скорости процесса;  $V_{\text{кат}}$  – объем катализатора,  $\text{м}^3$ ;  $\Delta$  – движущая сила процесса.

Основные размеры каталитического реактора определяется из совокупности кинетических расчетов с тепловыми и материальными балансами.

Скорость массопередачи компонента, находящегося в реакционной смеси, определяется уравнением:

$$G = \beta S_M \Delta C \quad (2)$$

где  $G$  – количество удаляемого компонента, кг/с (кмоль/ч);  $\beta$  – коэффициент массоотдачи, м/с (м/ч);  $S_M$  – поверхность массопередачи, м<sup>2</sup>;  $\Delta C$  – средняя логарифмическая разность концентраций удаляемого компонента в газовом потоке  $C_H$  и у поверхности частиц катализатора в начале и в конце слоя катализатора  $C_K$ , кг/м<sup>3</sup> (кмоль/ м<sup>3</sup>):

$$\Delta C = \frac{C_H - C_K}{\ln C_H / C_K} \quad (3)$$

Необходимый объем катализаторов составит:

$$V_{\text{кат}} = S / s_0, \quad (4)$$

где  $V_{\text{кат}}$  – объем катализатора, м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поверхности частиц катализатора, м<sup>2</sup>;  $s_0$  – площадь поверхности частиц в единице объема катализатора (удельная площадь поверхности), м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Учитывая формулы (2) и (3) после преобразования получаем:

$$V_{\text{кат}} = \frac{G \ln C_H / C_K}{\beta (C_H - C_K) s_0}. \quad (5)$$

Коэффициент массоотдачи  $\beta = Nu_d \cdot D / d_3$  определяется в зависимости от режима течения газа по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{при } Re = 0,01 \dots 2 \quad \quad \quad Nu_d &= 0,515 Re^{0,25} Pr^{0,33} \\ \text{при } Re = 2 \dots 30 \quad \quad \quad Nu_d &= 0,725 Re^{0,47} Pr^{0,33} \\ \text{при } Re = 0,01 \dots 2 \quad \quad \quad Nu_d &= 0,395 Re^{0,64} Pr^{0,33} \end{aligned} \quad (6)$$

где  $Nu_d$  – диффузионный критерий Нуссельта:

$$Nu_d = \beta d_3 / D_y; \quad (7)$$

$Re$  – критерий Рейнольдса:

$$Re = v_r d_3 / \nu_r; \quad (8)$$

$Pr$  – диффузионный критерий Прандтля:

$$Pr = \nu_r / D_y; \quad (9)$$

$D_y$  – коэффициент диффузии улавливаемого газового компонента в воздухе при рабочих условиях:

$$D_y = D_{y0} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} \frac{p_0}{p}; \quad (10)$$

$$p_0 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$p$  – давление газовой смеси, Па;  $D_{y0}$  – коэффициент диффузии улавливаемого газового компонента в воздухе при нормальных условиях, м<sup>2</sup>/с;  $\nu_r$  – скорость газа при рабочих условиях, м/с:

$$v_{\Gamma} = \frac{v_0}{\varepsilon_0} \cdot \frac{T}{273} \frac{p_0}{p}, \quad (11)$$

$v_0$  – линейная скорость газа при нормальных условиях, отнесенная к полной фильтрующей поверхности (на практике  $v_0$  обычно принимают равной 0,5...1 м/с);  $\varepsilon_0$  – пористость неподвижного слоя частиц катализатора;  $d_3 = 4\varepsilon_0/s_0$  – эквивалентный диаметр частицы катализатора, м;  $v_{\Gamma}$  – кинематическая вязкость газа при рабочих условиях, м<sup>2</sup>/с;  $T$  – температура в реакционной зоне, К.

С помощью этих данных вычисляется значение объемной скорости  $q_{об}$ , при которой происходит каталитическая очистка газа. Если расчеты выполнялись для очистки определенного количества газа в час, то, разделив объем этого газа  $Q_{\Gamma}$  на необходимый объем катализатора  $V_{кат}$ , можно определить максимальную объемную скорость. Рассчитанное значение объемной скорости уменьшают в 1,5 – 2 раза для обеспечения длительности работы катализатора.

Удельная площадь поверхности частиц катализатора равна:

$$s_0 = \frac{S_{\text{ч}}}{V_{\text{ч}}} = \frac{6(1-\varepsilon)}{\Phi d_{\text{ч}}}, \quad (12)$$

где  $d_{\text{ч}}$  – диаметр частиц катализатора (для частиц сферической формы и цилиндра с высотой, равной диаметру), м;  $\Phi$  – коэффициент формы частиц катализатора, учитывающий неравнодоступность всей поверхности зерна обдуваемому потоку, например, для катализаторов в форме цилиндрических частиц длиной  $l_{\text{ч}}$  и диаметром  $d_{\text{ч}}$ :

$$\Phi = \frac{3d_{\text{ч}}l_{\text{ч}}}{2(l_{\text{ч}} + \frac{d_{\text{ч}}}{2})(\frac{3}{2}d_{\text{ч}}^2 l_{\text{ч}})^{1/3}}, \quad (13)$$

Необходимая теоретическая толщина неподвижного слоя катализатора  $H_0$  для достижения заданной степени очистки  $\eta$  определяется по формуле:

$$H_0 = \frac{N_0 v_{\Gamma}}{s_0 \beta}, \quad (14)$$

где  $N_0$  – число единиц переноса:

$$N_0 = \ln \frac{1}{1-\eta}, \quad (15)$$

где  $\eta$  – требуемая степень превращения (эффективность очистки газа).

Гидравлическое сопротивление слоя насыпного катализатора при ламинарном движении газа через зернистый неподвижный слой катализатора определяется по уравнению:

$$\Delta p = \zeta \frac{3(1-\varepsilon_0)}{2\varepsilon_0^3 \Phi} \cdot \frac{H_0}{d_{\text{ч}}} \cdot \frac{\rho_{\Gamma} v_0^2}{2}, \quad (16)$$

или

$$\frac{\Delta p}{H_0} = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_0)^2 \mu_{\Gamma}}{\Phi^2 \varepsilon_0^3 d_{\text{ч}}^2} \cdot v_0 \quad (17)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления;  $\varepsilon_0$  – пористость неподвижного слоя;  $H_0$  – высота неподвижного слоя катализатора, м;  $s_0$  – удельная внешняя поверхность зерен катализатора,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $v_0$  – фиктивная скорость газа, м/с;  $\rho_{\Gamma}$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\mu_{\Gamma}$  – динамическая вязкость газа при рабочих условиях, Па·с;  $d_{\text{ч}}$  – диаметр частиц катализатора, м.

При  $Re < 50$  коэффициент сопротивления  $\zeta = 220/Re$ ; при  $Re > 50$   $\zeta = 11,6/Re^{0,25}$ .

Критические скорости взвешивания и уноса частиц катализатора а также гидравлическое сопротивление слоя  $\Delta p$  – это основные гидродинамические характеристики реактора кипящего слоя. Эти величины определяют пределы существования взвешенного слоя.

Скорость начала взвешивания  $v_{\text{ВЗВ}}$  определяется по числу Рейнольдса:

$$Re_{\text{ВЗВ}} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (18)$$

где  $Re_{\text{ВЗВ}} = v_{\text{ВЗВ}} d_{\text{ч}} / \nu_{\Gamma}$  и  $Ar = \frac{g d_{\text{ч}}^3 (\rho_{\text{т}} - \rho_{\Gamma})}{\nu_{\Gamma}^2 \rho_{\Gamma}}$ ;

$\nu_{\Gamma}$  – кинематический коэффициент вязкости газа,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\rho_{\text{т}}, \rho_{\Gamma}$  – плотность соответственно твердых частиц катализатора и газовой смеси;  $g$  – ускорение свободного падения.

Истинная скорость начала взвешивания:

$$v_{\text{ИСТ}} = v_{\text{ВЗВ}} / \varepsilon \quad (19)$$

где  $\varepsilon$  – пористость кипящего слоя.

Уравнение (18) позволяет определить  $v_{\text{ВЗВ}}$  с достаточной для технических расчетов точностью.

Скорость уноса частиц газа  $v_{\text{УН}}$  определяется из соотношения:

$$Re_{\text{УН}} = \frac{Ar_{\text{min}}}{(18 + 0,6\sqrt{Ar_{\text{min}}})} \quad (20)$$

в котором  $Ar_{\text{min}}$  определяется для наиболее мелких частиц твердого материала диаметром  $d_{\text{min}}$ .

Гидравлическое сопротивление взвешенного слоя определяется из условий существования взвешенного слоя, другими словами, из равенства сил трения газа о частицы и силы тяжести частиц. Условие равновесия для слоя высотой  $H_{\text{сл}}$ :

$$\Delta p = g\rho_T(1 - \varepsilon_{cp})H_{cl} \quad (21)$$

где  $\varepsilon_{cp}$  – средняя пористость взвешенного слоя (в рабочем состоянии).

Высота взвешенного слоя катализатора  $H$ :

$$H = H_0 \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} \quad (22)$$

Расчет пористости неоднородного взвешенного слоя осуществляют с помощью формулы, определяющей  $\varepsilon$  через  $Ar$  и  $Re$ :

$$\varepsilon = \left( \frac{18Re + 0,36Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (23)$$

### Список литературы

1. Котельные установки и парогенераторы: учебник / В. М. Лебедев, А. С. Заворин и др.; под ред. В. М. Лебедева. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. 376 с.
2. Ветошкин, А. Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – М.: Изд-во АСВ, 2009.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### **Финиченко Александра Юрьевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: Finichenko@mail.ru

#### **Антипина Дарья Юрьевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Студентка кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: dasha.antilopa@mail.ru

#### **Бауэр Анастасия Витальевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Студентка кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: bauer\_nastena1@mail.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

#### **Finichenko Aleksandra Yurevna**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Heat Power Engineering", OSTU.

E-mail: Finichenko@mail.ru

#### **Antipina Darya Yurevna**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student, the department of «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: dasha.antilopa@mail.ru

#### **Bauer Anastasia Vitalyevna**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student, the department of «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: bauer\_nastena1@mail.ru

**В. И. Бабинцева**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ  
ЭНЕРГИИ ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ВЫРАБОТКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*В статье рассмотрены перспективы развития геотермальной энергии. Проведен обзор электростанций в районах Крайнего Севера, способов получения энергии на геотермальных станциях. Отражены достоинства и недостатки данного вида энергии.*

*Ключевые слова: геотермальная энергия, тепло, мерзлота, планирование.*

**Valeria I. Babintseva**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

**USE OF GEOTHERMAL SOURCES OF THERMAL ENERGY FOR NEEDS  
OF HEAT SUPPLY AND DEVELOPMENT THE ELECTRIC POWER IN  
THE REGION OF THE FAR NORTH**

*In article the prospects of development of geothermal energy are considered. The review of power plants in the region of the Far North, ways of obtaining energy at geothermal stations is carried out. Merits and demerits of energy of this type are reflected.*

*Key words: geothermal energy, heat, permafrost, planning.*

Актуальность геотермальной энергии как одного из видов возобновляемой энергии обусловлена истощением запасов органического топлива и зависимостью большинства развитых государств от его импорта, а также значительным отрицательным воздействием топливной и ядерной энергетики на среду обитания человека и на природу.

На территории России разведано 47 геотермальных месторождений с запасами термальных вод, позволяющими получить более  $240 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/сутки и парогидротерм производительностью более  $105 \cdot 10^3$  т/сутки [1-2].

На территории нашей страны пробурено более 3000 скважин с целью использования геотермальных ресурсов [3]. Так, например, на Камчатке уже пробурено на геотермальных полях 365 скважин глубиной от 255 до 2266 м. По данным Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН геотермальные ресурсы, которые выявлены на данный момент, позволяют полностью обеспечить Камчатку электричеством и теплом более, чем на 100 лет. Наряду с высокотемпературным Мутновским месторождением мощностью 300 МВт(э) на юге Камчатки известны значительные запасы геотермальных ресурсов на Паужетском, Кошелевском, Больше-Банном, а также на севере Камчатки - Киреунском месторождениях. На этих месторождениях можно достигнуть мощности около 2000 МВт (электрических). Запасы тепла геотермальных вод Камчатки оцениваются в 5000 МВт (тепловых).

Все же, применяя геотермальную энергию, следует полностью учитывать как достоинства, так и недостатки.

Главное достоинство геотермальной энергии - возможность ее использования в виде геотермальной воды либо смеси воды и пара (в зависимости от их температуры) для нужд горячего водо- и теплоснабжения, для выработки электроэнергии, или одновременно для всех 3-х целей, ее практическая неисчерпаемость, полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года. Таким образом, использование геотермальной энергии (наряду с использованием других экологически чистых возобновляемых источников энергии) может внести существенный вклад в решение следующих проблем: предоставление устойчивого тепло- и электроснабжения для населения в районах, где централизованное энергоснабжение отсутствует или является дорогостоящим (например, на Камчатке, в районах Крайнего Севера и т. п.); обеспечение гарантированного минимума энергоснабжения населения в зонах неустойчивого централизованного энергоснабжения из-за нехватки электроэнергии в энергосистемах, предотвращение ущерба от аварийных и ограничительных отключений и т.п.; снижение вредных выбросов от энергоустановок в отдельных регионах с непростой экологической обстановкой.

Основным недостатком геотермальной энергии является необходимость обратной закачки отработанной воды в подземный водоносный горизонт. Другой недостаток заключается в высокой минерализации термальных вод большинства месторождений и наличии токсичных соединений и металлов в

воде, что в большинстве случаев исключает возможность сброса этих вод в природные водные системы, расположенные на поверхности.

Вышеупомянутые недостатки геотермальной энергии приводят к тому, что для практического использования теплоты геотермальных вод необходимы значительные капитальные затраты на бурение скважин, обратную закачку отработанной геотермальной воды, а также на создание коррозионно-устойчивого теплотехнического оборудования.

В современных геотермальных установках преобразование тепловой энергии в выработку электрической осуществляется несколькими методами [2]:

### 1. Прямой метод

На рис.1 отображен принцип работы прямого метода. В установках такого вида из недр земли идет пар, работающий в непосредственном контакте с паровой турбиной. Пар подается на лопасти турбины, которая свое вращательное движение передает генератору, вырабатывающему электрический ток.

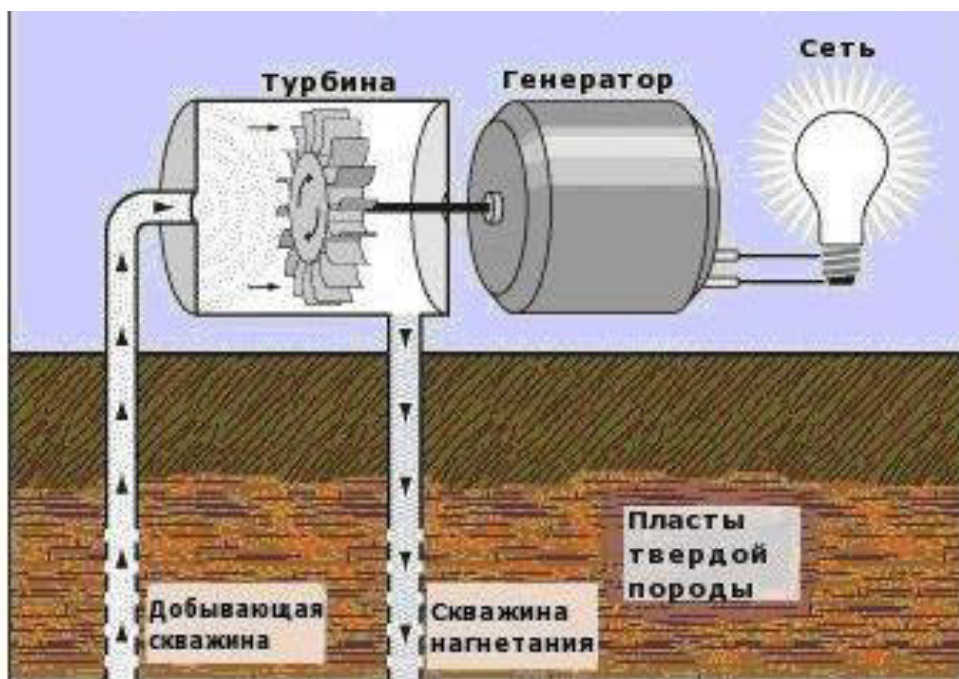


Рис. 1. Прямой метод работы геотермальной установки

### 2. Непрямой метод

Принцип работы непрямого метода представлен на рис. 2. В этом случае из земли закачивается раствор, который поступает на испаритель, затем после испарения полученный пар поступает на лопасти турбины.

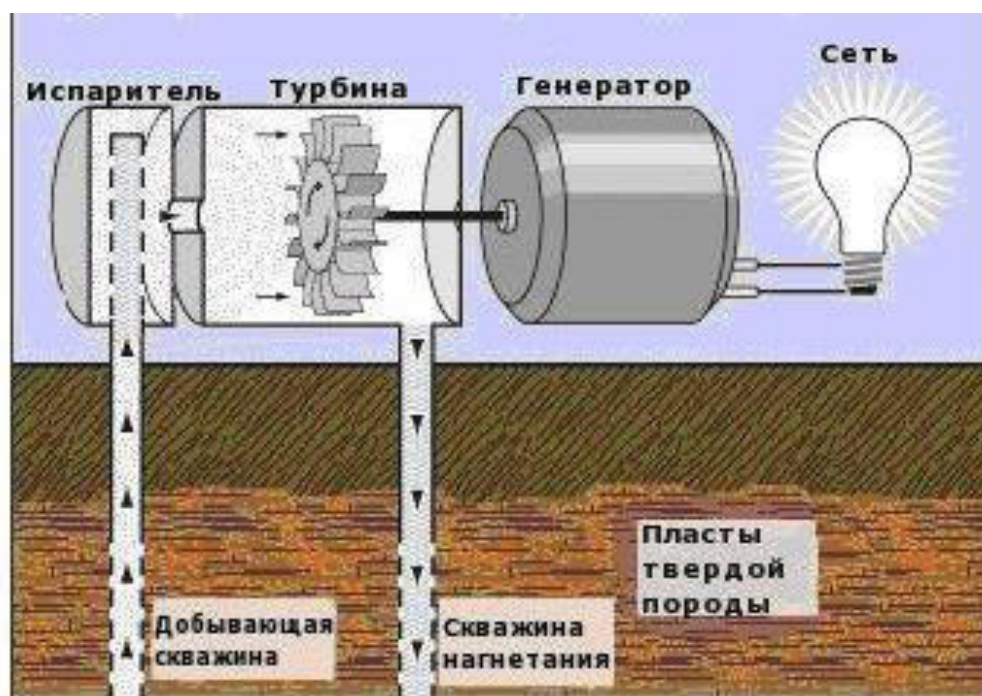


Рис. 2. Непрямой метод работы геотермальной установки

### 3. Смешанный (бинарный) метод

На рис. 3 отображен принцип работы бинарного метода. В устройствах, работающих по этому методу, вода из скважины поступает на теплообменник, в котором передает свою энергию теплоносителю. Он, в свою очередь, испаряется под воздействием полученной энергии, а образовавшийся пар поступает на лопасти турбины.

В геотермальных установках, работающих по прямому методу воздействия на турбину, источником энергии служит геотермальный пар.

В непрямом методе используются перегретые гидротехнические растворы (гидротермы), которые обладают температурой выше  $180^{\circ}\text{C}$ .

При бинарном методе используется горячая вода, забираемая из слоев земли, а в качестве парообразующей жидкости с меньшей температурой кипения (например, фреон).

На сегодняшний день на Камчатке работают четыре геотермальные электростанции – старейшая в России Паужетская ГеоЭС, Верхне-Мутновская ГеоЭС, крупнейшая в стране Мутновская ГеоЭС и Менделеевская ГеоТЭС.

1. Паужетская ГеоЭС расположена около поселка Паужетка на полуострове Камчатка. Введена в эксплуатацию в 1966 году.

Технические характеристики:

Электрическая мощность – 12,0 МВт;

Годовой объем вырабатываемой электрической энергии – 124,0 млн кВт·ч;

Количество энергоблоков – 2.

Ведутся работы по реконструкции, в результате которой электрическая мощность возрастет до 17,0 МВт.

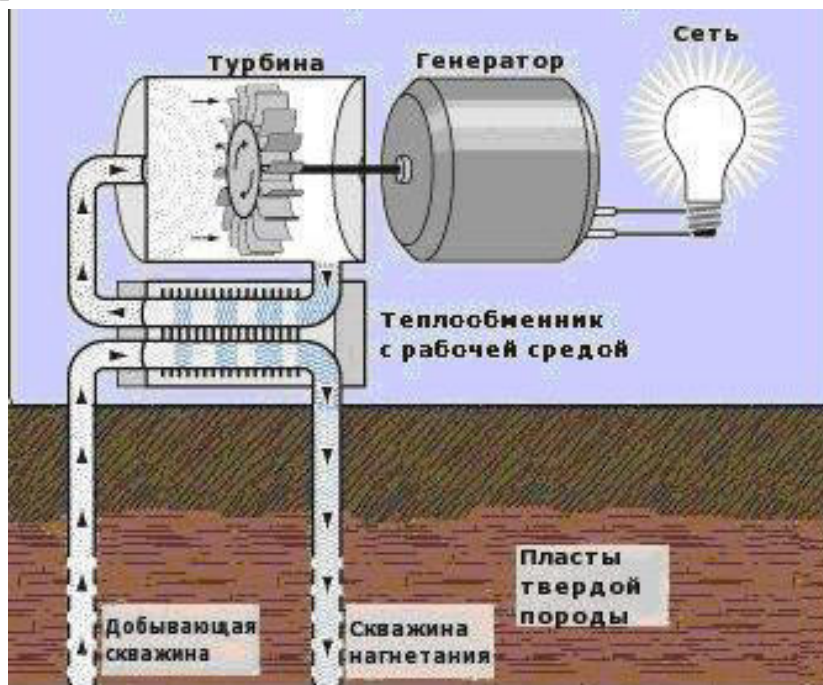


Рис. 3. Смешанный метод работы геотермальной установки

2. Верхне-Мутновская ГеоЭС - опытно-промышленная ГеоЭС, расположенная в Камчатском крае. Введена в эксплуатацию в 1999 году.

Технические характеристики:

Электрическая мощность – 12,0 МВт;

Годовой объем вырабатываемой электрической энергии – 63,0 млн кВт·ч;

Количество энергоблоков – 3.

3. Мутновская ГеоЭС - крупнейшая электрическая станция подобного типа. Расположена в Камчатском крае. Введена в эксплуатацию в 2003 году.

Технические характеристики:

Электрическая мощность – 50,0 МВт;

Годовой объем вырабатываемой электрической энергии – 350,0 млн кВт·ч;

Количество энергоблоков – 2

4. Менделеевская ГеоТЭС расположена на острове Кунашир. Введена в эксплуатацию в 2000 году.

Технические характеристики:

Электрическая мощность – 3,6 МВт;

Тепловая мощность – 17 Гкал/час;

Количество энергомодулей – 2.

В настоящее время станция модернизируется, после чего мощность составит 7,4 МВт.

Горячие подземные воды на Камчатке и Курилах обладают потенциалом в 20 миллионов тонн условного топлива в год. Они позволяют полностью удовлетворить электрические и тепловые потребности этих территорий. Геотермальный потенциал региона во много раз превышает показатель главной геотермальной державы – Исландии, где избыточная энергия вулканических геоструктур используется для производства водорода и получения значительных экспортных доходов.

Для дальнейшего развития геотермальной энергетики необходимы инвестиции и поддержка государства. Введение геотермальной энергетики в энергобаланс Российской Федерации, с одной стороны, позволит повысить энергетическую безопасность, с другой - уменьшить вредное воздействие на экологическую ситуацию по сравнению с традиционными источниками.

#### Список литературы

1. Зысин, Л. В. Геотермальная энергия / Л. В. Зысин, В. В. Сергеев // Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – СПб.: СПбПУ, 2008. – 192 с.

2. Алхасов, А. Б. Ресурсы геотермальной энергетики / А. Б. Алхасов // Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. – М.: Физматлит, 2008. – 376 с.

3. Бухтияров, А. А. Перспективы и проблемы развития геотермальной энергетики на территории России / А. А. Бухтияров // Образование и наука в России и за рубежом. 2018. №6. URL: <https://www.gyrnal.ru/statyi/ru/473/> (дата обращения: 22.03.2019).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Бабинцева Валерия Игоревна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Студентка кафедры «Теплоэнергетика»

ОмГУПС.

E-mail: [incoe@yandex.ru](mailto:incoe@yandex.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Babintseva Valeria Igorevna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student, the department of «Heat power engineering» OSTU.

E-mail: [incoe@yandex.ru](mailto:incoe@yandex.ru)

**М. В. Глухова, Э. Е. Сапрыгина**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

## **БЕССТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТЭЦ**

*Работа посвящена переходу ТЭЦ на бессточный режим работы. Рассмотрены вопросы актуальности данной тематики. Описаны основные характеристики объекта исследования и представлена его принципиальная схема. Представлены основные способы осуществления поставленной задачи.*

*Ключевые слова: бессточный режим работы, тепловые электрические станции, сточные воды, гидрозолоудаление, оборотная системы водоснабжения.*

**Maria V. Glukhova, Eleonora E. Saprygina**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **DRAINLESS TECHNOLOGY AT CHP**

*The work is devoted to the transition to a continuous operation of CHP. The questions of relevance of this subject are considered. The main characteristics of the object of study are described and its schematic diagram is presented. The main ways of realization of the task are presented.*

*Key words: drain-free operation, thermal power plants, waste water, water removal, recycling water supply system.*

Эксплуатация тепловых электрических станций связана с использованием большого количества воды. Сточной водой является любой поток воды, выводимый из цикла теплоэлектростанции.

Загрязненные сточные воды ТЭС и их водоподготовительных установок состоят из различных по количеству и качеству потоков. В их состав входят:

1. Сточные воды как оборотных, так и прямоточных (разомкнутых) систем гидрозолошлакоудаления (ГЗУ) электростанций, работающих на твердом топливе. Продувочные воды оборотных систем водоснабжения ТЭС, сбрасываемые постоянно.

2. Воды комплексных очистных установок, сбрасываемые периодически, в том числе: пресные, зашламленные, засоленные, кислые, щелочные,

замасленные и замазученные воды главного корпуса, мазутного и трансформаторного хозяйства ТЭС.

3. Продувочные воды паровых котлов, испарителей и паропреобразователей, сбрасываемые постоянно и сточные воды водоподготовительных (ВПУ) и конденсатоочистительных установок.

4. Замасленные и зашламленные снеговые и дождевые стоки с территории ТЭС.

5. Обмывочные воды РВП и поверхностей нагрева котлов (стоки от РВП котлов, работающих на мазуте, сбрасываются 1 – 2 раза в месяц и реже, а от других поверхностей и при сжигании твердых топлив – чаще).

6. Замасленные, загрязненные внешние конденсаты, пригодные после их очистки для питания паровых котлов-испарителей.

а. Сбросные, отработанные, концентрированные, моющие кислые и щелочные растворы и отмывочные воды после химических промывок и консервации паровых котлов, конденсаторов, подогревателей и другого оборудования (сбрасываются несколько раз в год, обычно летом).

7. Воды после гидроуборки топливных цехов и других помещений ТЭС (сбрасываются обычно 1 раз в сутки в смену, чаще днем).

Составы перечисленных стоков различны и определяются типом ТЭС и основного оборудования, ее мощностью, видом топлива, составом исходной воды, способом водоподготовки в основном производстве и уровнем эксплуатации.

В снижении отрицательного влияния энергетики на водный бассейн страны магистральным направлением является максимальное сокращение потребления свежей воды, базирующееся на применении замкнутых систем водопользования. Эти системы обеспечивают регенерацию воды с доведением ее до кондиций, позволяющих повторно использовать воду в технологических операциях электростанций. Обычно большую часть загрязненных стоков электростанции проще и дешевле очистить до уровня, при котором допустимо повторное (многократное) использование, чем до уровня, регламентируемого санитарными и рыбоохранными органами, позволяющего сбросить стоки в водоемы общего пользования.

Наиболее эффективный способ защиты водных объектов от загрязнения сточными водами промышленных предприятий заключается в создании замкнутых систем оборотного водоснабжения и переходе на

бессточный режим водоиспользования, лучше всего отвечающий задаче сохранения природных ресурсов и защите окружающей среды.

При переходе на бессточные системы должен учитываться технико-экономический фактор. Достижение бессточности любыми средствами может приводить к непомерным капитальным и эксплуатационным расходам. Поэтому при проектировании систем водного хозяйства с переходом на бессточный режим водоиспользования должен предшествовать ряд мероприятий, направленных на максимальное внедрение безводных или маловодных технологических процессов производства, сокращение объемов водопотребления, количества сточных вод и утилизацию уловленных из сточных вод продуктов.

Под замкнутой системой водного хозяйства предприятия понимается такая система водопользования, когда основным источником водоснабжения являются очищенные производственные, бытовые и поверхностные сточные воды при исключении образования отходов и сброса сточных вод в водоёмы.

Существенно облегчают проблемы перехода на бессточное водоиспользование новые технологии в энергетике и, в частности, очистки воды.

Методы очистки сточных вод подразделяются на механические (физические), физико-химические, химические и биохимические.

Непосредственное выделение примесей из сточных вод может быть осуществлено следующими путями (механические и физико-химические методы):

1. Механическое удаление крупных примесей (на решетках, сетках).
2. Микропроцеживание (мелкие сетки).
3. Отстаивание и осветление.
4. Применение гидроциклонов.
5. Центрифугирование.
6. Фильтрование.
7. Флотация.
8. Электрофорез.
9. Мембранные методы (обратный осмос, электродиализ).

Выделение примесей с изменением фазового состояния воды или примеси (физико-химические методы):

- 1) примесь – газовая фаза, вода – жидкая фаза (дегазация или отгонка с паром);
- 2) примесь – жидкая или твердая фаза, вода – жидкая фаза (выпаривание);
- 3) примесь и вода – две жидкие не смешивающиеся фазы (экстракция и коалесценция);
- 4) примесь – твердая фаза, вода – твердая фаза (вымораживание);
- 5) примесь – твердая фаза, вода – жидкая фаза (кристаллизация, сорбция, коагуляция).

Методы очистки сточных вод путем превращения примесей с изменением их химического состава (химические и физикохимические методы) разделяются по характеру процессов на следующие группы:

- 1) образование труднорастворимых соединений (известкование и др.);
- 2) синтез и разложение (разложение комплексов тяжелых металлов при вводе щелочей и др.);
- 3) окислительно-восстановительные процессы (окисление органических и неорганических соединений сильными окислителями и др.);
- 4) термическая переработка (аппараты с погружными горелками, сжигание кубовых остатков и др.).

Наибольшее практическое значение при очистке сточных вод ТЭС имеют методы: отстаивание, флотация, фильтрование, коагуляция и сорбция, известкование, разложение и окисление веществ.

В зависимости от качества исходной воды и требований к качеству добавочной воды котлов применяются различные варианты схем водоподготовительных установок. В общем виде они включают в себя предочистку воды и ионный обмен.

Непосредственный сброс сточных водоподготовительных установок в водоемы недопустим из-за резкопеременных значений рН, выходящих за пределы 6,5 – 8,5, оптимальных для водоемов, а также высокой концентрации в них грубодисперсных примесей и солей.

Удаление грубодисперсных примесей и регулирование рН не представляют проблемы. Наиболее сложной задачей является снижение концентрации истинно-растворенных примесей (солей). Ионообменный метод здесь непригоден, так как приводит к возрастанию количества сбрасываемых солей. Более предпочтительны безреагентные методы (выпаривание, обратный

осмос) или с ограниченным применением реагентов (электродиализ). Но и в этих случаях обработка воды на водоподготовительных установках производится дважды. Поэтому главной задачей при проектировании и эксплуатации водоподготовки ТЭС следует считать уменьшение сброса сточных вод.

На рис. 1. в качестве примера приведена схема бессточного водоснабжения ТЭС, работающей на угле. Зола и шлак из котлов подаются на золоотвал 1. Осветленная вода 2 с золоотвала возвращается в котлы. При необходимости часть этой воды подвергается очистке на установке локальной очистки 3. Образующиеся при этом твердые отходы 4 подаются на золоотвал 1. Частично обезвоженные зола и шлак утилизируются. Возможно также сухое шлакозолоудаление, что упрощает утилизацию золы и шлака. Дымовые газы 5 котлов проходят очистку в установке десульфуризации газов 6. Образующиеся сточные воды очищаются по технологии с использованием реагентов (извести, полиэлектролитов). Очищенная вода возвращается в систему газоочистки, а образовавшийся гипсовый шлам вывозится на переработку.

Сточные воды 7, образующиеся при химических промывках, консервации оборудования и обмывке конвективных поверхностей нагрева котлов, подаются в соответствующие установки по очистке 8, где обрабатываются с использованием реагентов по одной из описанных ранее технологий. Основная часть очищенной воды 9 используется повторно. Ванадий содержащий шлам 10 вывозится на утилизацию. Осадки 11, образовавшиеся при очистке сточных вод, вместе с частью воды подаются на золоотвал 1 либо складировются в специальных шламонакопителях. В то же время при подпитке котлов дистиллятом МИУ эксплуатационная очистка котлов практически не нужна. Следовательно, сточные воды такого типа будут практически, отсутствовать либо их количество будет незначительным. Аналогичным образом утилизируется вода от консервации оборудования, либо применяются методы консервации, не сопровождающиеся образованием сточных вод. Часть этих сточных вод после обезвреживания может равномерно подаваться на ВПУ для обработки совместно с продувочными водами 12 СОО (системы оборотного охлаждения).

Исходная вода непосредственно либо после соответствующей обработки на ВПУ подается в СОО. Необходимость обработки и ее вид зависят от

конкретных условий работы ТЭС, в том числе от состава исходной воды, необходимой степени ее упаривания в СОО, типа градирен и др. С целью сократить потери воды в СОО градирни могут быть оборудованы каплеуловителями либо применены полусухие или сухие градирни. Вспомогательное оборудование 13, при охлаждении которого возможно загрязнение оборотной воды нефтепродуктами и маслами, выделено в самостоятельную систему. Вода этой системы подвергается локальной очистке от нефтепродуктов и масла в узле 14 и охлаждается в теплообменниках 15 водой 16 из основного контура СОО охлаждения конденсаторов турбин. Часть этой воды 17 используется для восполнения потерь в контуре охлаждения вспомогательного оборудования 13. Выделенные в узле 14 масло- и нефтепродукты 18 подаются на сжигание в котлы. Часть воды 12, подогретой в теплообменниках 15, направляется на ВПУ, а ее избыток 19 – на охлаждение в градирни. Продувочная вода 12 СОО проходит обработку на ВПУ по технологии, с использованием реагентов. Часть умягченной воды 20 подается на подпитку закрытой теплосети перед подогревателями 21 сетевой воды. При необходимости часть умягченной воды может быть возвращена в СОО. Необходимое количество умягченной воды 22 направляется в МИУ. Сюда же подаются продувки 23 котлов, а также конденсат 24 с мазутного хозяйства непосредственно либо после очистки в узле 25. Выделенные из конденсата нефтепродукты 18 сжигаются в котлах.

Пар 26 первой ступени МИУ подается на производство и в мазутное хозяйство, а полученный дистиллят 27 поступает на подпитку котлов. Сюда же подается конденсат с производства и конденсат сетевых подогревателей 21 после обработки в конденсатоочистке (КО). Сточные воды 28 КО и блочной обессоливающей установки БОУ используются в ВПУ. Сюда же подается продувочная вода 29 МИУ для приготовления регенерационного раствора по описанной ранее технологии.

Ливневые стоки с территории ТЭС собираются в накопителе ливне стоков 30 и после локальной очистки в узле 31 также подаются в СОО либо на ВПУ. Выделенные из воды нефте- и маслопродукты 18 сжигаются в котлах. В СОО могут также подаваться грунтовые воды без или после соответствующей обработки. При работе по описанной технологии в значительных количествах будет образовываться известковый и гипсовый шлам.

Перспективны два направления создания бессточных ТЭС:

а) разработка и внедрение экономичных и экологически совершенных инновационных технологий подготовки добавочной воды парогенераторов и подпиточной воды теплосети;

б) разработка и внедрение инновационных нанотехнологий максимально полной переработки и утилизации образующихся сточных вод с получением и повторным использованием в цикле станции исходных химических реагентов.

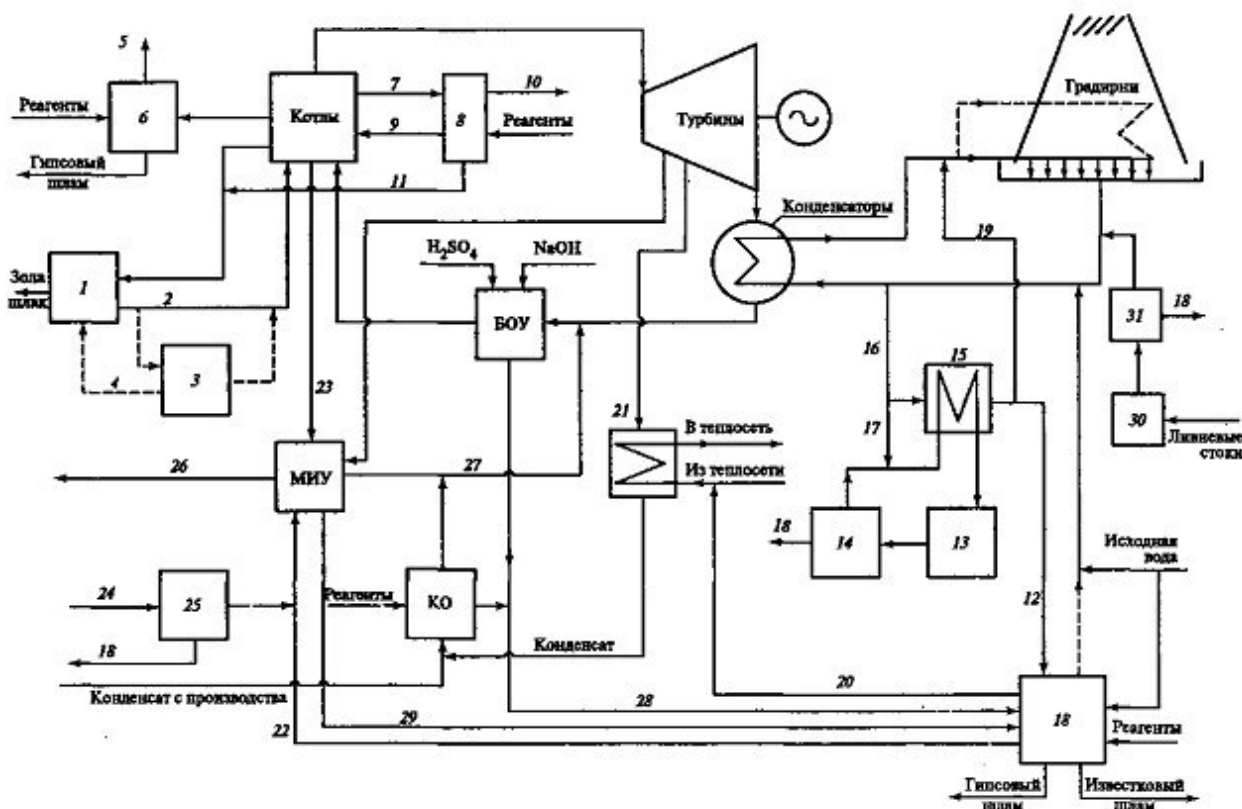


Рис. 1. Схема ТЭС с высокими экологическими показателями

Внедрение данных технологий позволит снизить эксплуатационные затраты на выработку обессоленной воды (затраты воды для собственных нужд, реагентов и количества стоков). А доочистка и повторное использование условно чистой воды предприятия снизит объемы забора исходной воды. Значительно повысит надежность ТЭЦ и сократит сбросы в водоемы.

#### Список литературы

1. Бессточная система водоснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newreferat.com/ref-220-1.html>.

2. Рихтер, Л. А. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: учебное пособие / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 295 с.

3. . Кобитович, К. Я. Пути создания бессточных ТЭС и АЭС / К. Я. Кобитович. – Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл. [Электронный ресурс]: <https://interactive-plus.ru/e-articles/287/Action287-116065.pdf>.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Глухова Мария Викторовна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: Marta\_omgups@mail.ru

##### **Сапрыгина Элеонора Евгеньевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Студентка кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: esaprygina839@gmail.com

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Glukhova Maria Viktorovna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Heat Power Engineering", OSTU.  
E-mail: Marta\_omgups@mail.ru

##### **Saprygina Eleonora Evgenyevna**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Student, the department of «Heat power engineering», OSTU.  
E-mail: esaprygina839@gmail.com

УДК 621.182: 662.66

#### **С. В. Луговой, В. М. Лебедев**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Статья посвящена исследованию и анализу эффективности реконструкции схемы регенерации ионообменных фильтров на водоподготовительной установке. Произведен расчёт окупаемости данного мероприятия.*

*Ключевые слова: водоподготовка, эжекционная установка, ионнообменный фильтр.*

**Stanislav V. Lugovoy, Vitaly M. Lebedev**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **RESEARCH OF EFFICIENCY OF WORK OF THE HEAT SYSTEM OF PETROCHEMICAL PRODUCTION**

*The article is devoted to research and analysis of the effectiveness of the reconstruction of the regeneration scheme of ion-exchange filters at a water treatment plant. Produced payback calculation of the event.*

*Key words: water treatment, ejection unit, ion exchange filter.*

Показатель энергоэффективности всего НПЗ складывается из энергоемкости каждой отдельной установки. Показатели, по которым оцениваются установки, – это потребление таких энергоресурсов как: топливо для печей, охлаждающая вода, теплофикационная вода, водяной пар, электроэнергия. Большое влияние имеет проблема безвозвратных потерь. Она является актуальной как для российских, так и для международных нефтяных компаний.

Качество химически очищенной воды для подпитки котлов влияет на , экономичность, безаварийность теплоэнергетического оборудования и тепловых сетей, предупреждает образование всех видов отложений и коррозионных повреждений на внутренних поверхностях теплоэнергетического оборудования, элементах трассы сетевой воды, включая отопительные приборы. Обеспечение подпиточной воды заданного качества обеспечивает экономичную работу оборудования, так как образующиеся отложения на поверхности нагрева вызывают потери топлива. Качественному приготовлению воды на предприятии ОАО «Газпромнефть-ОНПЗ» предназначена установка ХВО-3, на которой подготавливается химочищенная вода для подпитки котлов установок нефтеперерабатывающего завода.

Задачей научно-исследовательской работы является в определение целесообразности модернизации процесса регенерации натриевых фильтров первой и второй ступени с целью снижения энергопотребления при замене насосов дозаторов на эжекционную установку.

Установка ХВО-3 предназначена для получения химически очищенной (умягченной) воды и очистки производственного конденсата от

нефтепродуктов с остаточной жесткостью не более 15 мкг-экв/дм<sup>3</sup>. Обеспечивает необходимое качество химически очищенной воды при получении питательной воды для котлов-утилизаторов с параметрами до 3,9 МПа при минимальном загрязнении сточных вод сбрасываемых с установки.

Технологическая схема блока умягчения включает:

- 1) коагулирование и удаление взвешенных веществ;
- 2) ионообменную двухступенчатую, химическую очистку.

На рис. 1 приведена принципиальная схема химводоподготовки.

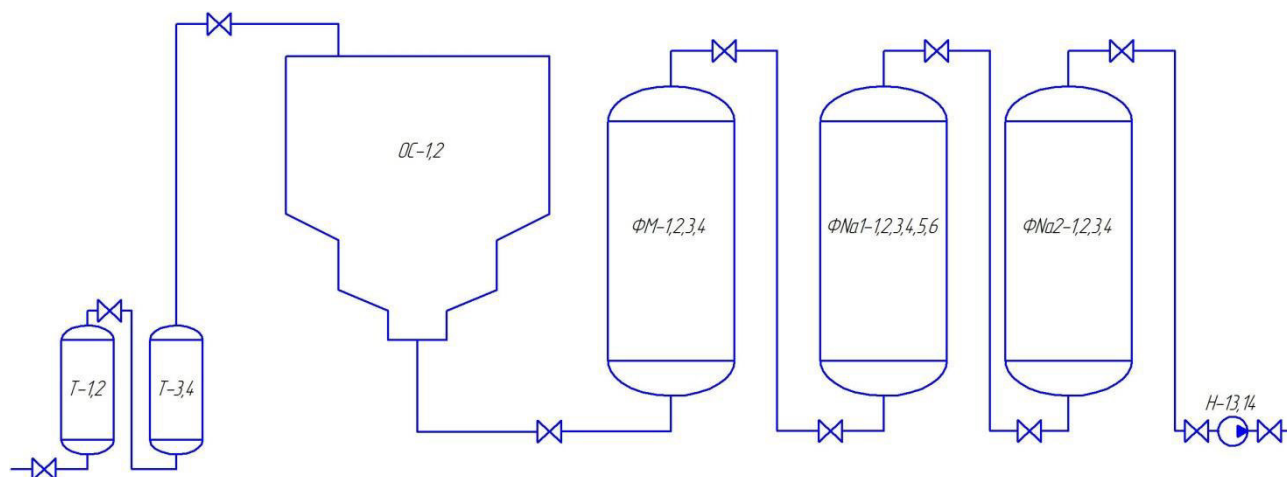


Рис. 1. Принципиальная схема химводоподготовки:

Т – теплообменники, ОС – осветлители, ФМ- механические фильтры, ФNa1,2- натриевые фильтры 1-ой и 2-ой ступени

Обслуживание Na-катионитовых фильтров первой и второй ступени заключается в проведении регенераций после отработанного фильтроцикла. После срабатывания загрузочного слоя катионита ему необходима регенерация, которая достигается путем пропускания через истощенный слой катионита раствор электролита, содержащего ионы натрия в концентрации, превышающей стехиометрические соотношения обмениваемых катионов.

На рис. 2 изображена схема приготовления и подачи солевого раствора на регенерацию Na-катионитовых фильтров I и II ступени насосами дозаторами.

После тщательного перемешивания раствора в солевых ячейках следует перекачать в емкость Е-9, в которой он хранится до полного использования. Солевой раствор подается центробежными насосами Н-27,28 через солерастворители для удаления взвешенных частиц и грязного осадка на емкость Е-9. По технологии раствор подается на всас насосов дозаторов

Н-28,29,30,31 , после чего смешивается с водой до нужной концентрации и уже готовый рассол подается на регенерацию Na-фильтров (Рис. Рис.).

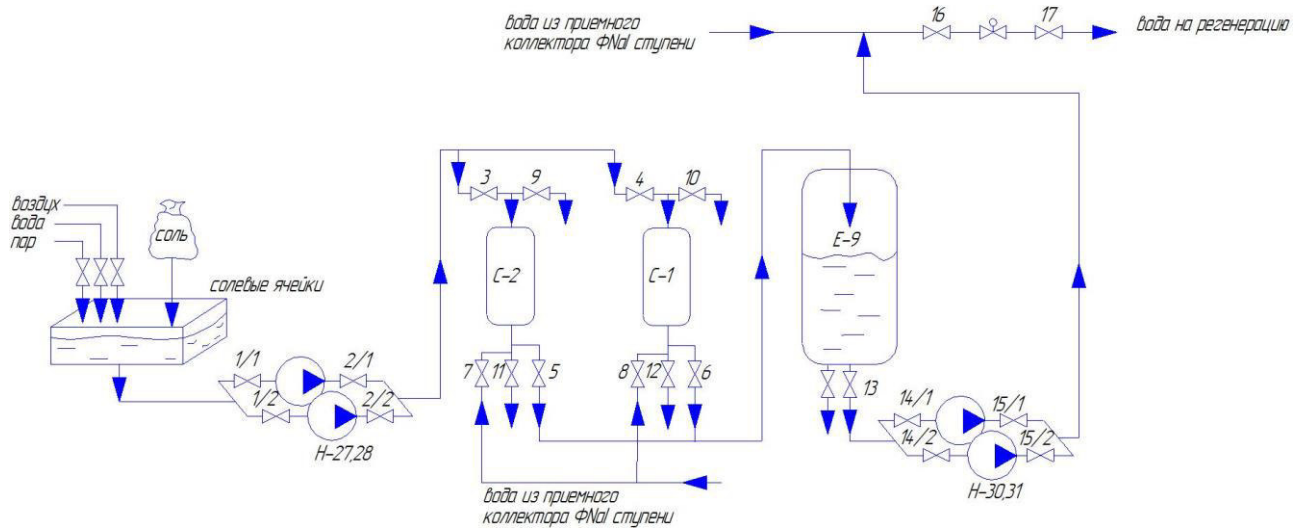


Рис. 2. Схема приготовления и подачи солевого раствора на регенерацию Na-катионитовых фильтров I и II ступени насосами дозаторами:

С-1,2 – солерастворители; Е-9 - емкость-мерник для солевого раствора;

Н-27,28 – насос для перекачки насыщенного раствора соли из солевых ячеек в емкость Е-9;

Н-28,29,30,31 – насосы дозаторы подачи солевого раствора на регенерацию

Предлагается произвести переоборудование подачи раствора соли на регенерацию фильтров. Следует вместо насосов дозаторов установить эжекционную установку, в которую также будет подаваться солевой 26% раствор, увлекаемый за эжектируемым рабочим телом, которым является химочищенная вода от насосов Н-13,14. Также предлагается установить на трубопроводе эжектирующей воды расходомер, за эжектором автоматический концентратомер, а для удобства регулирования концентрацией солевого раствора или для её изменения предусмотрен регулировочный вентиль, который будет встроен в эжекционный поток (рис. 3Рис.). Для подстраховки предлагается не убирать плунжерные насосы, а оставить лишь два, в качестве резервного оборудования на случай технического обслуживания и ремонта эжектора.

Был произведен расчёт геометрических размеров камеры струйного насоса и подсчитан срок окупаемости данного мероприятия. Расчёты по технико-экономическому обоснованию сведены в таблицу.

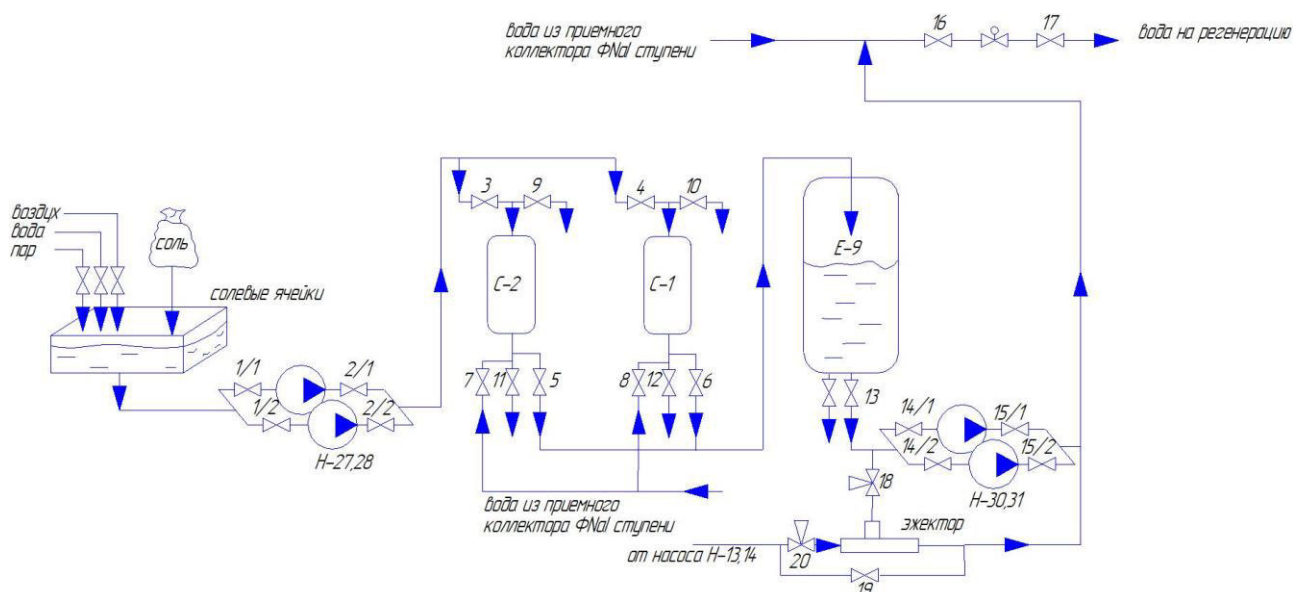


Рис. 3. Схема приготовления и подачи солевого раствора на регенерацию

Na-катионитовых фильтров I и II ступени с помощью эжектора:

C-1,2 – солерастворители; E-9 – емкость-мерник для солевого раствора; H-27,28 – насос для перекачки насыщенного раствора соли из солевых ячеек в емкость E-9; H-28,29,30,31 – насосы дозаторы подачи солевого раствора на регенерацию

Таблица 1

Результаты расчета чистого дисконтированного дохода и индекса доходности

| Показатель             | Год (t) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 0-й     | 1-й  | 2-й  | 3-й  | 4-й  | 5-й  | 6-й  | 7-й  | 8-й  | 9-й  | 10-й |
| Э                      | 0,00    | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| $K_t$                  | 0,03    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| $ЧДД_t$                | -0,03   | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| $\Sigma ЧДД$           | -0,03   | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 0,18 |
| Индекс доходности (ИД) | -1,00   | 0,04 | 0,99 | 1,85 | 2,63 | 3,35 | 3,99 | 4,58 | 5,12 | 5,60 | 6,05 |

Ожидаемый экономический эффект от снижения затрат на энерго-ресурсы составляет 43 тыс. руб. в год при затратах в 15 тыс. руб. на реализацию предложенных рекомендаций. Срок окупаемости капитальных затрат составит не более 0,9 лет. Следовательно, данное мероприятие является малозатратным и быстроокупаемым.

#### Список литературы

1. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»,

утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.

2. Гоглачев, С. Н. Совершенствование оборудования очистки воды системы оборотного водоснабжения / С. Н. Гоглачев, Е. А. Наумкин, И. Р. Кузеев // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сборник научных статей. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. – С. 25 – 32.

3. Рябчиков, Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования: Справочник / Б. Е. Рябчиков – М.: Де Липриот. – 2004. – 328 с.

4. Шиян, Л. Н. Свойства и химия воды. Водоподготовка: Учебное пособие / Л. Н. Шиян. – Т.: Издательство ТПУ. – 2004. – 72 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Луговой Станислав Викторович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Магистр кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: [www.lygovoy.ru@mail.ru](mailto:www.lygovoy.ru@mail.ru)

##### **Лебедев Виталий Матвеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

E-mail: [Heatomgups@mail.ru](mailto:Heatomgups@mail.ru)

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Lugovoy Stanislav Viktorovich**

Omsk State University of Communications (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master the department of «Heat power engineering» OSTU.

E-mail: [www.lygovoy.ru@mail.ru](mailto:www.lygovoy.ru@mail.ru)

##### **Lebedev Vitaly Matveevich**

Omsk State University of Communications (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Heat Power Engineering" OSTU.

E-mail: [Heatomgups@mail.ru](mailto:Heatomgups@mail.ru)

УДК 332.146

#### **В. М. Давиденко, А. П. Стариков**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

#### **ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

*В статье показаны основные этапы внедрения энергетического менеджмента на промышленном предприятии и особенности управления предприятием при наличии службы энергетического менеджмента.*

*Ключевые слова: энергоменеджмент, потери, стандарт, энергоэффективность.*

**Vladislav M. Davidenko, Alexander P. Starikov**

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

## **ENERGY MANAGEMENT IN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

*The article describes the main stages of the implementation of the energy management in industry and enterprise management features in the presence of energy management services.*

*Key words: energy management, losses, standard, energy efficiency.*

Энергоменеджмент – это не что иное, как комплекс целенаправленных методов, позволяющих повысить энергоэффективность предприятия, что по итогу приводит к ожидаемому результату, в отличие от технического, технологического или инженерного менеджмента, который направлен только на одностороннее решение проблемы, которые, несомненно, имеет место быть, в редких случаях.

Система энергоменеджмента (СЭМ) – это комплекс взаимосвязанных структурных элементов, которые взаимодействуют между собой для достижения единой цели – повышения энергоэффективности используемых компонентов системы. В качестве инструментов по регулированию энергетической политики, энергоменеджмент использует различные схемы и методики, которые помогают достигать поставленных целей и задач.

Преимуществом СЭМ является то, что она дает возможность разработать и внедрить необходимые процессы, в перспективе улучшающие энергетическую результативность, компаниям и организациям вне зависимости от их размера и специализации. Энергетическое обследование промышленных предприятий – это необходимый процесс, который должна пройти каждая компания, ведь он позволяет задействовать весь существующий потенциал, и значительно повысить показатели продуктивности и эффективности, что в свою очередь приведет к снижению расходов и повышению прибыли.

Законом об энергосбережении предусмотрен обязательный регулярный энергоаудит крупных предприятий, но его реализация затруднена несовершенством организационно-финансового механизма исполнения.

Нормативно-правовую базу по энергосбережению составляют:

- Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»;
- Федеральный закон № 190-ФЗ от 27.07.2010 «О теплоснабжении»;
- Стандарт энергоменеджмента ISO 50001;
- Распоряжения и Постановления Правительства РФ;
- Приказы Минэкономразвития и Минрегиона РФ.

Целями внедрения СЭМ являются:

- обеспечение интеграции деятельности по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в общую структуру;
- обеспечение более эффективного использования энергетических ресурсов;
- улучшение сравнительного анализа, документирования и отчетности;
- сокращение производственных отходов;
- прозрачность и обмен знаниями в области управления энергоресурсами;
- стимулирование внедрения инноваций, оценка и назначение приоритетов при внедрении новых энергоэффективных технологий.

Какие возможности открывает энергоменеджмент?

- определение текущего состояния системы учета и расхода энергоресурсов и выявление путей совершенствования и модернизации данных систем;
- проведение анализа по выявлению текущего состояния схем энергоснабжения, и внедрение рабочих мероприятий направленных на их модернизацию;
- использование в своем рабочем процессе только новейшего энергоэффективного оборудования;
- выявление проблем в сфере неэффективного использования энергетических ресурсов, и получение рекомендаций, относительно того, как быстро и менее затратно исправить все обнаруженные проблемы;
- получение нового ряда статей пассивного и активного дохода;
- получение возможности значительно сократить расходы на закупку энергоресурсов, в силу того, что расходоваться данный материал с момента внедрения системы энергетического менеджмента будет более рационально;
- определение общего состояния энергетической и технической сферы предприятия, опираясь на точные показатели и расчеты;

- вникание в техническую и управленческую сторону вопроса с возможностью непосредственного участия в разработке планов совершенствования и модернизации систем энергетического снабжения предприятия;

- получение необходимого пакета документов касающихся сферы энергоснабжения, составленных на основе действующих законодательных документов (норм, правил, стандартов);

- проведение эффективного кадрового менеджмента, с распределением обязанностей между сотрудниками компании, таким образом, что каждый уровень будет обеспечен необходимым количеством работников, для его отлаженного и бесперебойного функционирования;

- внедрение автоматизированного механизма, позволяющего контролировать и управлять всей системой энергосбережения предприятия, как единым комплексом.

Этапы внедрения системы энергоменеджмента в общую систему предприятия:

1. диагностика и планирование;
2. реализация;
3. испытание;
4. корректировка.

Энергетический менеджмент начинается с назначения на предприятии ответственного лица – энергетического менеджера. На этом же этапе формулируются основные цели и предполагаемые результаты на последующие несколько лет. Энергоменеджер – это специалист по оптимальному управлению энергетическим хозяйством предприятия. Целью деятельности энергоменеджера является актуальное в настоящее время повышение эффективности использования электрической и тепловой энергии и снижение энергозатрат на предприятии. Основные обязанности энергетического менеджера заключаются в следующем :

- участие в составлении карты потребления энергии на предприятии;
- сбор данных по потреблению топливно-энергетических ресурсов с использованием счетчиков и контрольно-измерительной аппаратуры;
- составление плана установки дополнительных счетчиков и контрольно-измерительной аппаратуры;

- сбор данных по потокам сырья, топливо энергетических ресурсов и готовой продукции;
- расчет ключевых данных по повышению эффективности использования энергии – в целом и по отдельным производствам;
- определение, локализация и внедрение мер по экономии энергии, не требующих инвестиций или с минимальными инвестициями; – локализация, оценка и определение приоритетности мер по экономии энергии, требующих более крупных инвестиций;
- участие в составлении схемы останова оборудования и вариантов энергообеспечения для случаев аварийного прекращения энергоснабжения;
- информирование персонала предприятия о деятельности по энергетическому менеджменту и предпринимаемых мерах, направленных на экономию энергии;
- внедрение новых технологий на существующих и новых энергоносителях для повышения энергоэффективности производства;
- участие в разработке бизнес-планов и производственной стратегии предприятия наравне с другими руководителями.

На рис. 1 представлена примерная схема управления предприятием с участием службы энергоменеджмента.

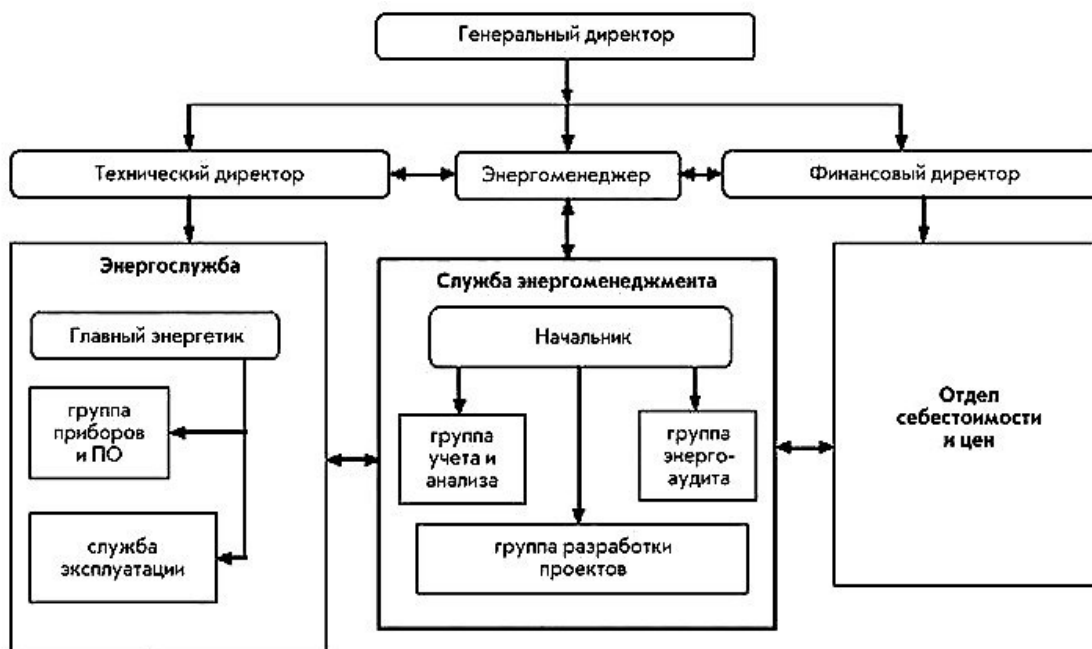


Рис. 1. Схема управления предприятием с участием службы энергоменеджмента

Энергетический менеджер обязан следить за изменениями в области энергетической политики и сопутствующих аспектах, например законодательства по налогообложению, субсидий, технологического присоединения, защиты окружающей среды и т.д.

Показания основных счетчиков и других приборов систем учета и контроля необходимо снимать ежедневно или не реже одного раза в неделю для получения данных по общему потреблению газа, электроэнергии, воды и т.д. Необходимо проводить сбор данных по объему производства и по использованию сырья.

Однако данных по энергопотреблению еще недостаточно для проведения анализа энергоэффективности. В дополнение по каждому центру энергоучета собираются следующие данные, влияющие на энергопотребление:

- 1) анализ объема произведенной продукции или услуг в физическом выражении;
- 2) анализ выхода вторичного энергоресурса (для котельных, компрессорных, насосных);
- 3) анализ климатических условий для оценки необходимого количества тепла для отопления (кондиционирования, вентиляции);
- 4) анализ наружной освещенности (для систем освещения);
- 5) анализ количества человеко-часов присутствия людей в здании (для административно-бытовых зданий, офисов и т.д.).

Успешное введение энергетического менеджмента в большой степени зависит от отношения к нему руководства предприятия. Ощутимые результаты могут быть получены только в том случае, если руководство проявляет инициативу. Необходимо планомерно налаживать систему управления энергопотреблением во всех ее аспектах: техническом оснащении предприятий, создании структуры и процедуры энергоменеджмента, обучении персонала.

Подводя итог, можно сказать, что интегрирование системы энергоменеджмента в общий комплекс существующих систем управления предприятием, позволяет выстроить рабочий механизм, основной целью которого является решение не только тактических, но и стратегических задач для повышения показателей энергоэффективности предприятий, что в конечном итоге снизит себестоимость продукции и выведет предприятие на новый уровень конкурентоспособности.

## Список литературы

1. Гужов, С. В. Внедрение системы энергетического менеджмента как принцип управления действующими электротехническими комплексами / С. В. Гужов // ЭНЕРГОСОВЕТ – 2017. – № 48. – С. 46 – 51.

2. Ларин, О. М. Внедрение энергетического менеджмента на промышленных предприятиях / О. М. Ларин, Н. В. Хорошилов, Д. В. Чернышева // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 2 – 3. – С. 228 – 331.

3. Несветайло, М. В. Энергоменеджмент на предприятии. Общая информация / М. В. Несветайло // SCI-ARTICLE.RU– 2013. – № 3.

4. Василько, Ю. В. Концепция внедрения энергоменеджмента на основе международного стандарта ISO 50001 / Ю. В. Васильков // Вестник энергоэффективности. – 2015. – №1. – С. 63 – 72.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### **Давиденко Владислав Михайлович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Магистрант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
E-mail: dav.vlad.1995@mail.ru

#### **Стариков Александр Петрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.  
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.  
Телефон: +7 (3812) 31-06-23  
E-mail: StarikovAP@omgups.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

#### **Davidenko Vladislav Mihailovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Master of Engineering sciences in the Department «Heat power engineering», OSTU.  
E-mail: dav.vlad.1995@mail.ru

#### **Starikov Alexander Petrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.  
Ph. D. in Technical Sciences, associate Professor, head of the department «Heat power engineering», OSTU.  
Phone: +7 (3812) 31-06-23  
E-mail: StarikovAP@omgups.ru

*Научное издание*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ И  
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Материалы всероссийской  
научно-технической конференции

---

Ответственный за выпуск А. П. Стариков

\* \* \*

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.03.2019. Формат  $60 \times 84 \frac{1}{16}$ .  
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 14,7. Уч.-изд. л. 10,1.  
Тираж 300 экз. Заказ .

\* \*

Типография ОмГУПСа

\*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35