

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

**V открытая международная очно-заочная научно-практическая  
конференция молодых ученых и студентов**

**«ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ И  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

*Электронный сборник статей по материалам V открытой  
международной очно-заочной научно-практической конференции молодых  
ученых и студентов*

(15 марта 2024 г., Макеевка)

Макеевка, 2024 г.

УДК 696/697.004.163(063)  
ББК 38.7-03я43  
Э 65

*Печатается по решению ученого совета ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», протокол № 10 от 26.04.2024 г.*

Редакционная коллегия:

- Мущанов В. Ф. – председатель оргкомитета, проректор ФГБОУ ВО «ДОННАСА», д.т.н., профессор;
- Лукьянов А.В. – декан факультета инженерных и экологических систем в строительстве, д.т.н., профессор;
- Яковенко К.А. – заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства, к.т.н., доцент;
- Найманов А.Я. – профессор кафедры городского строительства и хозяйства, д.т.н., профессор;
- Удовиченко З.В. – заведующий кафедрой теплотехники, теплогазо-снабжения и вентиляции, к.т.н., доцент;
- Олексюк А.А. – профессор кафедры теплотехники, теплогазо-снабжения и вентиляции, д.т.н., профессор.

- Э65 Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений: электронный сборник научных трудов V открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов / Редколлегия: В. Ф. Мущанов, А. В. Лукьянов, В. И. Нездойминов и др. - Макеевка, ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. - 272 с.

Электронный сборник содержит 52 научные работы участников V открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений». Материалы представлены по таким тематическим направлениям: «Энергоресурсосбережение», «Инженерная инфраструктура городов», «Надежность систем ТГВ и безопасности их эксплуатации», «Инновации в инженерных сетях: отопления, газоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха».

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, молодым ученым и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки по рассматриваемым тематическим направлениям.

*Научное электронное издание*

Авторы научных статей несут ответственность за оригинальность текстов, а также достоверность изложенных фактов и положений.

© ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2024

УДК 697.972

**Бельский Евгений Сергеевич,**  
магистрант группы ЗТГВм-53а,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Бесараб Евгений Викторович,**  
магистрант группы ЗТГВм-53б

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Максимова Наталья Анатольевна,**  
кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры ТТГВ,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **СЕЗОННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ ХОЛОДА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ИСТОЧНИКА ХОЛОДА (СНЕГА ИЛИ ЛЬДА)**

*В данной статье рассмотрено использование сезонной аккумуляции холода в системах кондиционирования воздуха с использованием возобновляемого естественного источника холода, таких как снег или лед. Проанализированы различные методы и технологии, позволяющие эффективно использовать накопленный холод для охлаждения помещений в теплый период года, выявлены преимущества и недостатки таких систем.*

*Ключевые слова: система кондиционирования, аккумуляция холода, холодогенератор, снегохранилище, энергетическая эффективность*

В настоящее время во всем мире стоит остро вопрос экономии энергетических ресурсов. Одним из основных потребителей являются системы кондиционирования воздуха, потребление энергии которыми постоянно растет. Поэтому использование нетрадиционных источников энергии, разработка экологически безопасных и энергосберегающих технологий на их основе является важной актуальной задачей.

Одним из способов уменьшения потребления энергии является применение сезонной аккумуляции холода в системах кондиционирования с применением естественного источника холода (снега или льда). Использование данного источника ограничено, но довольно целесообразно возможно его применение для климатических условий с коротким периодом жаркого лета.

Российской Федерации обладает широкими перспективами развития направления, связанного с применением возобновляемых естественных источников холода, на территории которой располагается много климатических районов с колоссальными запасами холода, применение которого будет целесообразным в короткий период жаркого лета.

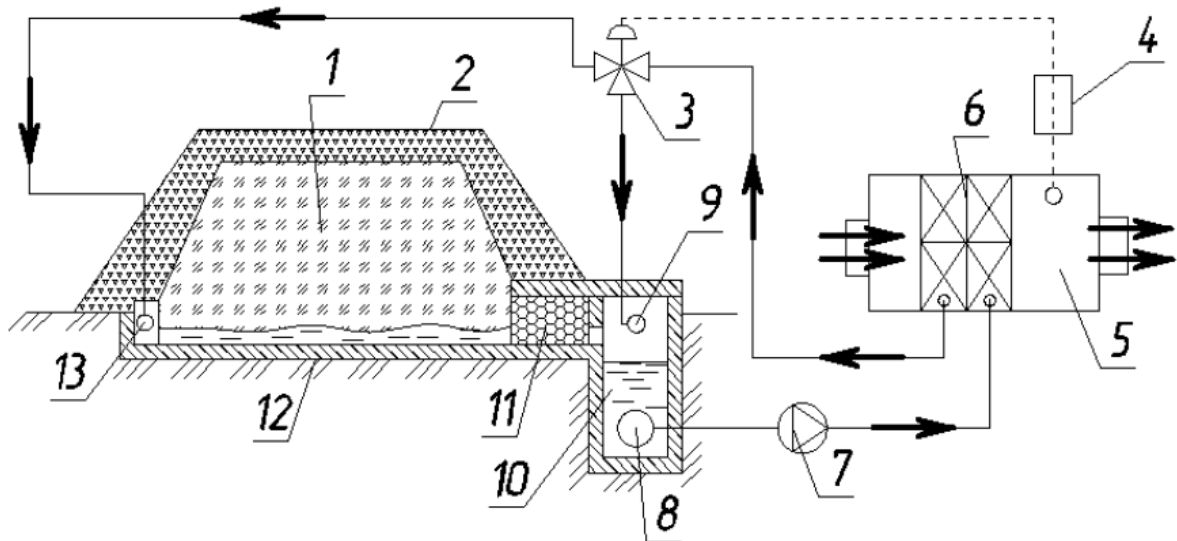
В настоящее время системы кондиционирования воздуха с аккумуляцией холода снега и льда широко применяется и активно развивается в Японии, что позволяет снижать расходы электроэнергии на системы кондиционирования в теплый период года в несколько раз. В настоящий момент в Японии существует более 100 систем, использующих естественный снег и лед.

Установки для холодоснабжения зданий с использованием снега можно разделить на два основных вида:

- установки в которых через снегохранилище продувается и охлаждается воздух;
- установки в которых через снегохранилище по системе трубопроводов протекает, охлаждаясь вода.

Наибольшее распространение в России получила схема стаивания естественного льда

(снега) по методу В.А. Бобкова (рисунок 1) [1,5]. При подготовке ледяного бунта используется водоемный лед. Блоки льда укладываются на подготовленную дренированную площадку в виде бунта, укрываемого теплоизоляцией. Снег собирают в бунт с помощью бульдозера с последующей трамбовкой гусеницами, затем снежный бунт промораживается и покрывается слоем простейшей изоляции.



1 – лед; 2 – насыпная изоляция, 3 – трехходовой клапан, 4 – регулятор температуры, 5 – кондиционер, 6 – поверхностный воздухоохладитель, 7 – насос, 8 – фильтр, 9 – слив воды в канализацию, 10 – приямок для талой воды, 11 – гравийный фильтр, 12 – площадка, 13 – коллектор отепленной воды

Рисунок 1 - Схема стаивания естественного льда в бунте по методу В.А. Бобкова

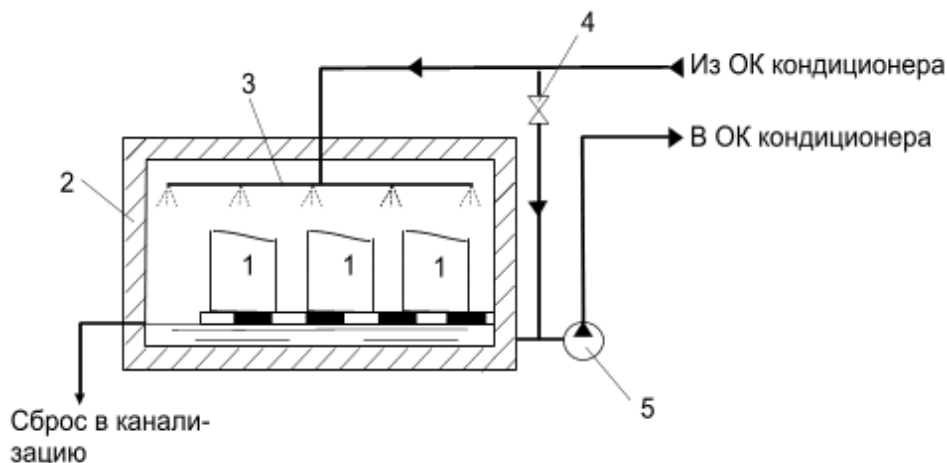
Метод В.А. Бобкова представляет собой один из способов стаивания естественного льда в бунте. Состоит из следующих этапов:

- подготовка места для стайки: выбирается место с высокими снегозадерживающими способностями, обеспечивающее хорошую уплотненность снежного слоя;
- уплотнение снежного слоя: снег укладывается в слоях толщиной около 20-30 см и уплотняется для создания плотного и прочного слоя;
- наложение льда: на уплотненный снежный слой наливается вода, которая замерзает и образует ледяной слой. Этот процесс может повторяться несколько раз для создания более толстого слоя льда;
- отделение льда от бунта: после того как лед достиг нужной толщины, его можно отделить от бунта с помощью специальных инструментов или методов;
- хранение льда: полученный лед можно использовать для кондиционирования воздуха, охлаждения продуктов, охлаждения напитков и других целей.

Основным недостатком систем с водяным охлаждением является их громоздкость. Так, для установки кондиционирования воздуха, предназначенной для работы в течение 100 летних дней по 8 ч со средней производительностью 230 кВт, требуется наморозить в течение зимы бунт объемом 2200 м<sup>3</sup>, для размещения которого требуется площадка размером 20 x 60 м. Разместить такую площадку не всегда возможно как в связи с большой занимаемой площадью, так и по архитектурным соображениям. Поэтому такие установки применяют в основном для технологического кондиционирования воздуха, например, на молокозаводах. [2]

Основным недостатком схемы, представленной на рисунке 1, является повышенные требования к качеству талой воды. При несоответствующем качестве талой воды, при ее использовании в поверхностных воздухоохладителях кондиционера, возможно быстрое загрязнение теплообменника и выход из строя.

Для установок кондиционирования небольшой мощности можно использовать схему, приведенную на рисунке 2.



1 – лед; 2- бак-холодогенератор; 3 – подача в бак отепленной воды; 4 – обводной вентиль для регулирования температуры воды; 5 – насос

Рисунок 2 – Установка охлаждения фреонного типа

Лед загружают в теплоизолированный ледовый танк 2, в верхнюю часть которого подается отепленная вода из поддона кондиционера. Орошение льда производится с помощью форсунок или перфорированных труб. При контакте с поверхностью льда вода охлаждается и затем сливается в поддон танка. Охлажденная вода насосом 5 подается к форсункам кондиционера. Для регулирования температуры воды, подаваемой в камеру кондиционера, перед всасывающим патрубком насоса присоединяют трубу, с помощью которой к охлажденной воде можно подмешивать более теплую воду, поступающую из поддона кондиционера.

Учеными разработано множество схем с циркуляцией талой воды через промежуточный теплообменник. Талая вода, проходя через теплообменник, охлаждает жидкий холодоноситель [3,4]. В данных схемах используется промежуточный водо-водяной теплообменник, применение которого позволяет использовать загрязненную талую воду и исключает попадание загрязнений в приточный воздух. Однако применение дополнительного оборудования приводит к удорожанию системы кондиционирования в целом.

Полностью исключить искусственное перемещение талой воды позволяет схема с использованием теплообменника, расположенного в нижней зоне холодохранилища.

Использование льда и снега в системах кондиционирования воздуха имеет ряд преимуществ и актуально по нескольким причинам:

1. Энергоэффективность: возобновляемые естественные источники холода, такие как лед или снег, позволяют существенно снизить энергопотребление систем кондиционирования воздуха за счет использования низких температур окружающей среды для охлаждения теплоносителя.

2. Экологическая безопасность: использование льда и снега как естественных источников холода способствует снижению выбросов парниковых газов и уменьшению нагрузки на окружающую среду.

3. Экономическая эффективность: использование возобновляемых источников холода может привести к снижению эксплуатационных расходов на кондиционирование воздуха за счет более эффективного использования ресурсов.

4. Устойчивость к изменениям климата: использование льда и снега как источника холода позволяет создать более устойчивые системы кондиционирования воздуха, которые

могут работать даже при экстремальных климатических условиях.

Таким образом, актуальность использования льда и снега в системах кондиционирования воздуха заключается в повышении энергоэффективности, экологической безопасности, экономической эффективности и устойчивости к изменениям климата.

### **Список литературы**

1. Бобков В.А. Производство и применение льда. М.: Пищевая промышленность. 1977. 231 с.
2. Тарасова, Е. В. Системы кондиционирования воздуха с сезонными аккумуляторами естественного холода : Дис... канд. техн. Наук. Тюмень., [Место защиты: Тюмен. гос. архитектур.-строит. ун-т]. - Тюмень, 2013. –151 с.
3. Явнель, Б.К. Использование естественных источников холода для охлаждения и осушения воздуха в СКВ [Электронный ресурс] / Б.К. Явнель// интернет-газета Холодильник RU. - 2010. - №11. - Режим доступа [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_11\\_2010\\_Natural\\_sources\\_chill.htm?ysclid=lu6j6yrdbn194433301](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_11_2010_Natural_sources_chill.htm?ysclid=lu6j6yrdbn194433301)
4. Кокорин, О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин: - М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. - 272 с. ISBN 5-94052-066-6.
5. Тарасова Е.В., Штым А.С. Схемы и конструкции аккумуляторов естественного холода в системах кондиционирования воздуха // Вестник инженерной школы Дальневосточного Федерального Университета. 2012. №4. С. 70–78.

УДК 697.973

Дельик Владислав Сергеевич,  
магистрант группы ЗТГВм-536,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;  
Емельянов Алексей Захарович,  
магистрант группы ЗТГВм-536,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;  
Максимова Наталья Анатольевна,  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

*В данной статье проанализированы особенности применения косвенно-испарительного охлаждения в системах кондиционирования воздуха, построения процессов на  $I d$ -диаграмме влажного воздуха. Рассмотрена принципиальная схема установки кондиционирования воздуха, использующей регенеративное косвенно-испарительное охлаждение воздуха.*

*Ключевые слова: система кондиционирования, испарительное охлаждение, основной поток, увлажнение, энергетическая эффективность*

В настоящее время одними из колоссальных потребителей тепловой и электрической энергии в административных и общественных зданиях являются системы климатизации, в частности системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Выбор системы вентиляции и кондиционирования воздуха на стадии проектирования является важной задачей, которая позволяет обеспечить снижение энергопотребления в целом, сократить капитальные и эксплуатационные затраты. На практике выбор энергоэффективных систем сложен, существует много готовых способов и различных мероприятий по снижению энергозатрат в системах вентиляции и кондиционирования воздуха [1, 3].

Одними из таких энергоэффективных систем являются системы кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением.

Они применяются в жилых, общественных, производственных помещениях. Процесс испарительного охлаждения в системах кондиционирования обеспечивают форсуночные камеры, плёночные, насадочные и пенные аппараты. Рассматриваемые системы могут иметь прямое, косвенное, а также двухступенчатое испарительное охлаждение. Статья посвящена рассмотрению особенностей систем кондиционирования с косвенным испарительным охлаждением.

Косвенное испарительное охлаждение — это процесс отвода тепла от потока воздуха через стенку теплообменника к воде, охлажденной испарением.

Косвенно-испарительное охлаждение в системах кондиционирования воздуха — это процесс, при котором теплоотдача происходит за счет испарения воды с поверхности охлаждающего элемента, а не непосредственно через контакт воздуха с этим элементом. В таких системах используются специальные охладители, такие как испарители, хладоаккумуляторы или аэораспылители, которые позволяют эффективно снижать температуру воздуха без значительного потребления энергии.

Принцип работы косвенно-испарительного охлаждения заключается в том, что вода испаряется на поверхности охладителя, за счет чего поглощается тепло из окружающего воздуха. Это позволяет снизить температуру воздуха и увлажнить его, что создает

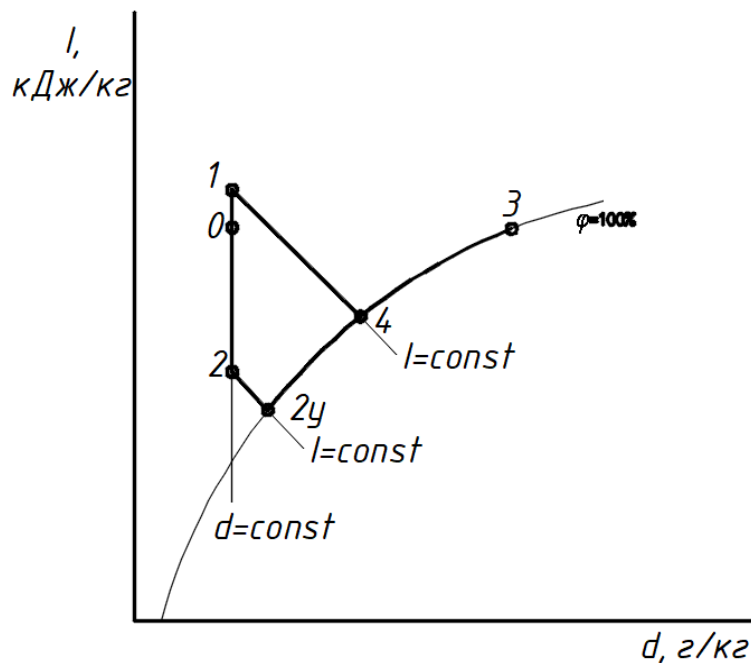
комфортные условия для пребывания людей в помещении.

Основные преимущества косвенно-испарительного охлаждения в системах кондиционирования включают эффективное снижение температуры воздуха при минимальном потреблении энергии, а также возможность увлажнения и очистки воздуха. Кроме того, такие системы более экологически чистые, поскольку не используют хладагенты, содержащие фреоны, которые являются опасными для окружающей среды.

Характерная черта такого метода охлаждения воздуха — это использование двух потоков воздуха: основного (поток воздуха, который охлаждается) и вспомогательного (поток, который обеспечивает охлаждение воды). Начальные параметры двух потоков воздуха, как правило, равны [2].

Общая схема работы такого метода заключается в том, что вода, охлажденная вспомогательным потоком воздуха посредством испарительного охлаждения, подается на поверхностный охладитель, охлаждающий основной поток приточного воздуха, который после подается через воздухораспределители в обслуживаемое помещение. В свою очередь, вода, отепленная основным потоком воздуха, возвращается в градирню для последующего охлаждения и повторения всего цикла [4,5].

Главной особенностью и преимуществом косвенно-испарительных систем является возможность охлаждения воздуха до температуры ниже температуры мокрого термометра. Так, технология обычного испарительного охлаждения (в увлажнителях адиабатного типа), когда в поток воздуха впрыскивается вода, не только понижает температуру воздуха, но и увеличивает его влагосодержание. При этом линия процесса на I-d-диаграмме влажного воздуха идет по адиабате, а минимально возможная температура соответствует точке «4» (рисунок 1).

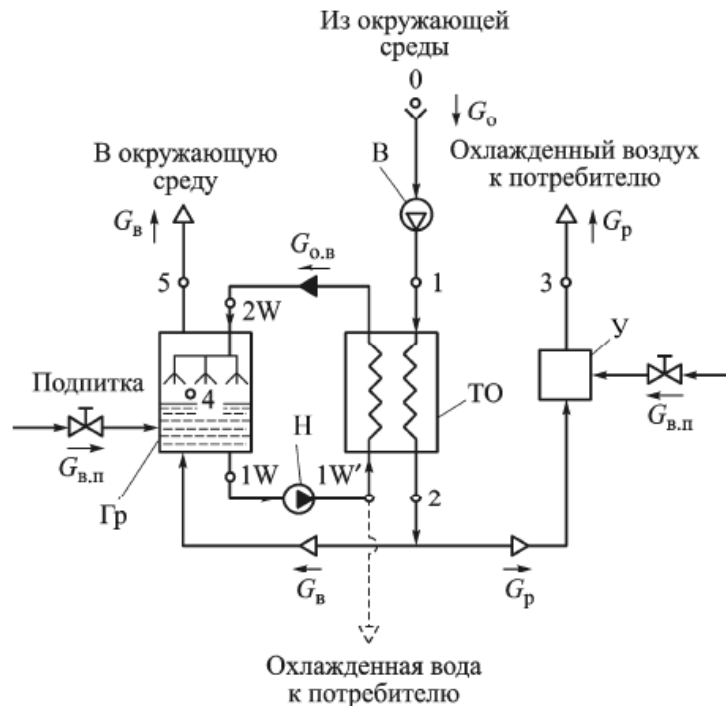


0 - наружный воздух, 0-1 нагрев в вентиляторе, 1-2 охлаждение в косвенно-испарительном теплообменнике полного потока, 2-2y адиабатное увлажнение вспомогательного потока, 2y-3 нагрев воздуха вспомогательного потока в увлажняемых каналах теплообменника

Рисунок 1 - Схема процессов обработки воздуха, протекающий в установке кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением в I-d диаграмме



Принципиальная схема установки кондиционирования воздуха, использующей регенеративное косвенно-испарительное охлаждение воздуха показана на рисунке 2.



В — вентилятор; Гр — градирня; ТО — теплообменник; ОС — окружающая среда;  $G_o$ ,  $G_{o,v}$  — основные массовые расходы охлаждаемого воздуха и охлаждающей воды;  $G_p$  — рабочий массовый расход воздуха (направляемый к потребителю);  $G_v$  — массовый расход воздуха вспомогательного потока; Н — насос; У — увлажнитель воздуха

Рисунок 2 - Принципиальная схема работы регенеративной косвенно-испарительной системы охлаждения воздуха и воды с градирней

Исходя из практики расчетов косвенно-испарительных систем охлаждения, как правило, расход вспомогательного потока составляет 30–70% от основного и зависит от потенциальной способности к охлаждению подаваемого в систему воздуха.

Сопоставление процессов прямого и косвенного испарительного охлаждения показывает, что при косвенном охлаждении производительность СКВ ниже, чем при прямом, кроме того, при косвенном охлаждении влагосодержание приточного воздуха более низкое, что позволяет расширить область использования принципа косвенного испарителя охлаждения.

### Список литературы

1. Вентиляция и кондиционирование воздуха. В. Н. Богословский, А. И. Пирумов, В.Н. Посохин и др.; -4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992 - 319 с.
2. Кокорин, О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин: - М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. - 272 с. ISBN 5-94052-066-6.
3. Аверкин А. Г., Еремкин А. И., Миронов К. В. Градирня на основе косвенно-испарительного охлаждения воздуха // Инженерные системы. АВОК– Северо-Запад. – 2008. – № 4 (37). – С. 68–70.
4. Соколик А. Н. Повышение энергоэффективности установок кондиционирования воздуха с использованием регенеративного косвенно-испарительного охлаждения : дис... ктн : 05. 04. 03 / Соколик А. Н. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М., 2016. - 135 с.
5. Горбачев М.В., Терехов В.И. Численное моделирование двухканального теплообменного аппарата косвенно-испарительного типа // XXXV Сибирский теплофизический семинар: тезисы докладов. – Новосибирск, 2019. – С. 329.

УДК 697.91

**Закусило Сергей Анатольевич,**  
магистрант группы ЗТГВм-536,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Сааков Владислав Валентинович,**  
магистрант группы ЗТГВм-536,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Максимова Наталья Анатольевна,**  
кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры ТТГВ,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ ВОЗДУХА**

*В данной статье рассмотрены современные системы механической вентиляции с переменным расходом воздуха: особенности конструкции, принцип работы. Выявлены преимущества данных систем в сравнении с системами вентиляции с постоянным расходом воздуха. Указаны ряд особенностей, которые необходимо учитывать при эксплуатации VAV-систем.*

*Ключевые слова: система вентиляции, переменный расход, распределительная камера, терминал, регулятор, энергетическая эффективность*

В современных зданиях система вентиляции является одним из ключевых элементов, обеспечивающих комфортные условия для людей, работающих и проживающих в этих помещениях. Одним из видов систем вентиляции является система механической вентиляции с переменным расходом воздуха.

VAV- Variable Air Volume- вентиляционные системы с переменным расходом воздуха работают в режиме изменения количества подаваемого воздуха. Изменения тепловой нагрузки помещения компенсируется путем изменения объема приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, подающей от центральной приточной установки. [1,2]

Вентиляционная система VAV реагирует на изменения тепловых нагрузок отдельных помещений или зон здания и изменяет фактическое количество воздуха, подаваемого в помещение. За счет этого вентиляционная система VAV работает при общем значении расхода воздуха меньшем, чем необходимо при суммарной максимальной тепловой нагрузке всех отдельных помещений. Это обеспечивает понижение потребления энергии при сохранении заданных параметров воздуха внутри помещений. Снижение энергетических затрат может составлять 25% и выше по сравнению с вентиляционными системами с постоянным расходом воздуха. В случае использования автоматических цифровых систем DDC (Direct Digital Control), вентиляционная система VAV может быть полностью интегрирована с комплексной системой управления зданием BAS (Building Automation System), что обеспечивает пользователю здания возможность мониторинга и управления параметрами работы инсталляции.[21]

Вентиляционная система VAV сконструирована по универсальному принципу, благодаря чему она может быть быстро адаптирована к новым условиям эксплуатации при модернизации или реконструкции здания. Это относится также и к системе управления. Использование новых технологий управления позволяет подключить ее к общей системе диспетчеризации на основе других протоколов. Исходя из вышесказанного, наиболее существенные преимущества вентиляционных систем VAV являются:

– индивидуальное регулирование параметров воздуха в отдельных помещениях;

- возможность использования датчиков движения, датчиков CO<sub>2</sub>, реле времени и ручных регуляторов для изменения расхода воздуха;
- снижение затрат на производство и монтаж сети воздуховодов и снижение стоимости оборудования для подготовки воздуха;
- снижение потребления электроэнергии;
- упрощение процесса запуска и настройки вентиляционной сети;
- возможность непрерывного контроля величины количества воздуха в отдельных ответвлениях сети воздушных каналов;
- возможность централизованного управления расходом воздуха в установке;
- возможность переоборудования вентиляционной системы в соответствии с новыми условиями.[ 1]

Типовая VAV-система состоит из следующих компонентов (рисунок 1):

- вентиляционная установка с плавно изменяемой производительностью. В ней должен использоваться электронно-коммутируемый (инверторный) вентилятор или же обычный вентилятор, управляемый от регулятора оборотов (электронного автотрансформатора), который позволяет плавно изменять скорость вращения вентилятора.
- воздухораспределительная камера, в которой поддерживается постоянное (заданное) давление. К этой камере подключаются воздуховоды от всех обслуживаемых помещений.
- дифференциальный датчик давления, который располагается возле распределительной камеры. Датчик с помощью тонкой трубки измеряет давление внутри камеры и передает эту информацию вентиляционной установке.
- воздушные клапаны с электроприводами (VAV-клапаны), управляемые от выключателей или регуляторов.

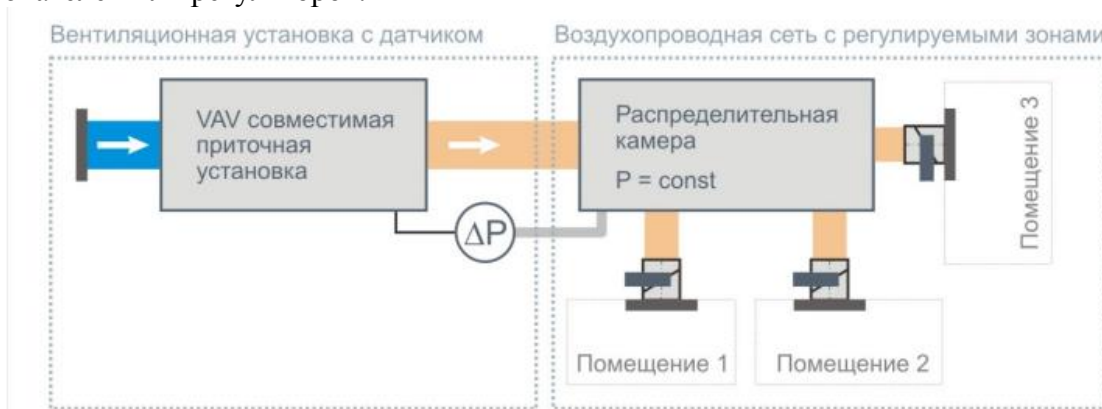


Рисунок 1 – Устройство VAV-системы вентиляции

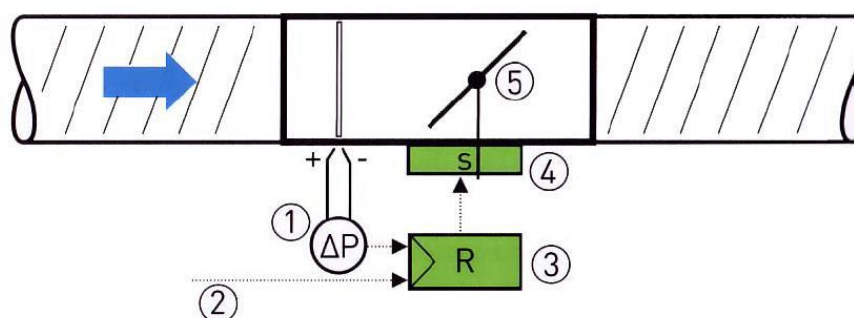
Главным элементом, поддерживающим заданную температуру и расход воздуха в помещении, является регулятор VAV, который называют также терминалом VAV (рисунок 2). Управление его работой осуществляется с помощью задающего устройства (температурного регулятора, ручного задатчика), которое размещается в обслуживаемой зоне здания или в отдельном помещении.



Рисунок 2 - Терминалы VAV для воздушных каналов круглого и прямоугольного сечения

Задачей терминала является поддержание заданного количества приточного и вытяжного воздуха в зависимости от текущей потребности. Требуемая величина расхода определяется значением внешнего управляющего сигнала. Этот сигнал поступает на регулятор от установленных в помещениях температурных регуляторов, датчиков CO<sub>2</sub> или других элементов системы управления.

На измерительных элементах VAV-терминала (рисунок 2), устанавливаемых в вентиляционном канале, возникает перепад давлений, его величина зависит от скорости воздуха. Это значение перепада подается на измерительный преобразователь, в котором определяется фактический расход воздуха в зависимости от площади поперечного сечения терминала, затем значение текущего расхода воздуха сравнивается с заданным. В результате этого сравнения формируется величина отклонения параметра системы регулирования, на основании которого генерируется сигнал для изменения положения дроссельной заслонки.[1,3]



1 – преобразователь перепада давлений; 2 – внешний управляющий сигнал; 3 – VAV регулятор; 4 – электропривод дроссельной заслонки; 5 – дроссельная заслонка

Рисунок 3 - Конструктивные элементы регулятора расхода VAV

VAV-систему можно упростить, отказавшись от распределительной камеры, и измерять давление непосредственно в канале воздуховода. В этом случае все воздуховоды должны разводиться из одной точки, вблизи которой замеряется давление (можно считать, что камера просто уменьшается до размера небольшого участка центрального воздуховода). Длины воздухопроводов, идущих от точки разветвления до обслуживаемых, помещений могут быть различными, главное, чтобы к каждому воздуховоду, идущему от точки разветвления, подключался только один клапан.

Система механической вентиляции с переменным расходом воздуха имеет ряд особенностей, которые следует учитывать при ее эксплуатации:

1. Регулируемый расход воздуха: Система обеспечивает возможность регулирования расхода воздуха в зависимости от потребностей помещения. Это позволяет достичь оптимальных параметров и комфортных условий для пребывания людей в помещении.

2. Энергоэффективность: благодаря возможности изменения расхода воздуха, система может оптимизировать использование энергии. В технических помещениях или помещениях с низкой загруженностью, можно снизить расход воздуха, что позволит сэкономить электроэнергию.

3. Регулирование качества воздуха: система механической вентиляции с переменным расходом воздуха также позволяет регулировать качество воздуха в помещении. Это достигается путем настройки параметров вентиляции, таких как скорость воздушного потока и процентное содержание наружного воздуха.

4. Управление системой: для работы с системой механической вентиляции с переменным расходом воздуха требуется наличие автоматического управления. Оно позволяет следить за работой системы, контролировать параметры воздуха и вносить необходимые изменения.

5. Регулярное техническое обслуживание: как и любая другая система вентиляции, система механической вентиляции с переменным расходом воздуха требует регулярного

обслуживания. Это включает в себя очистку фильтров, проверку работы вентиляторов и датчиков, а также настройку параметров работы системы.

### **Список литературы**

6. Сотников, А.Г. Системы кондиционирования и вентиляции с переменным расходом воздуха / А.Г. Сотников. – Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1984. – 148 с.
7. Рымкевич, А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А. А. Рымкевич. - СПб. : АВОК Северо-Запад : Арктика, 2003. - 271 с.
8. Табунщиков Ю.А., Бродач М. М. Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.:АВОК-ПРЕСС, 2003-200с.
9. Свинцов, А. П. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : учебное пособие / А. П. Свинцов. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 148 с. — ISBN 978-5-9729-1389-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/132939.html> (дата обращения: 19.09.2023). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей
10. Системы VAV. Руководство / В. Судол, Я. Хендигер.-Краков : SMAY, 2009. – 80 с.

УДК 621.577

**Письменный Лев Дмитриевич,**  
магистрант группы ТГВм-53а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Сергеев Тимофей Романович,**  
магистрант группы ТГВм-53а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Максимова Наталья Анатольевна,**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ГРУНТОВЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ**

*В данной статье проанализирована теплонасосная система теплоснабжения с вертикальным грунтовым теплообменником. Рассмотрены основные компоненты системы, а также принцип ее работы. Выполнено сравнение двух типов вертикальных грунтовых теплообменников.*

*Ключевые слова: система теплоснабжения, грунтовой теплообменник, тепловой насос, геотермальное тепло, аккумуляция теплоты, энергосбережение*

Системы теплоснабжения зданий и сооружений являются одними из наиболее энергоемких потребителей топливно-энергетических ресурсов в России. Одним из направлений энерго- и ресурсосбережения является использование практически неограниченных ресурсов возобновляемых природных источников низкопотенциального тепла (тепло воды подземных и поверхностных источников, грунта, воздуха и др.). Теплонасосные установки, применяемые для решения проблем теплоснабжения, в последнее время продемонстрировали конкурентные преимущества на рынке благодаря своим возможностям замещать органическое топливо низкопотенциальным теплом природного и техногенного происхождения.

Вертикальные грунтовые теплообменники дают возможность использовать геотермальное тепло недр Земли. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не занимают большой площади участков и не зависят от теплопоступлений от солнечной радиации. Температура на глубине ниже 15 м постоянна. Работа вертикального грунтового теплообменника не зависит от геологической среды, в которой он расположен, исключением являются только грунтовые породы, имеющие низкую теплопроводность. Такие системы получили наибольшее распространение, благодаря вышечисленным преимуществам. Вертикальные грунтовые теплообменники изготавливают из металлических, полипропиленовых и полиэтиленовых труб.

Существует два основных типа вертикальных грунтовых теплообменников:

– U-образный теплообменник, состоящий из двух параллельных труб, закольцованных в нижней части. В одной пробуренной скважине располагают до трех таких теплообменников. Капитальные затраты на изготовление этого типа вертикальных грунтовых теплообменников минимальные;

– концентрический теплообменник. Простейший концентрический теплообменник состоит из двух труб разного диаметра. Труба меньшего диаметра располагается в трубе большего диаметра. Такие теплообменники бывают и более сложных конфигураций.

Наиболее выгодным является применение U-образных вертикальных теплообменников, изготовленных из полиэтиленовой трубы, так как данный материал труб наиболее долговечен.

Вертикальные грунтовые теплообменники эффективно работают практически во всех видах геологических сред, за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например, сухого песка или сухого гравия. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками получили очень широкое распространение. Пример геотермальной системы теплоснабжения с вертикальным грунтовым теплообменником приведен на рисунке 1.

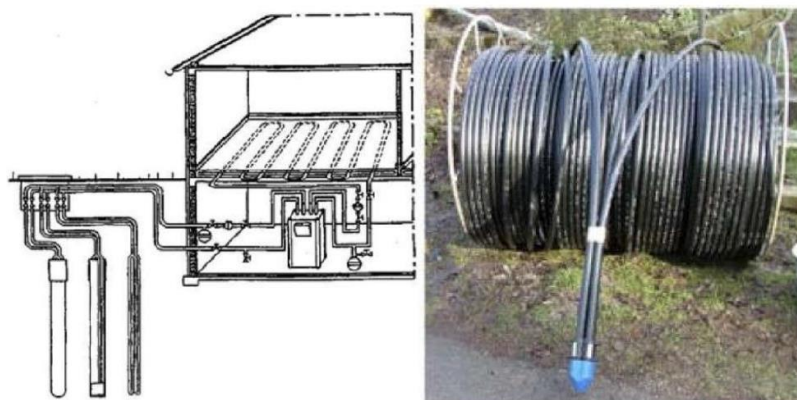


Рисунок 1 – Пример геотермальной системы теплоснабжения с вертикальным грунтовым теплообменником (общая схема и конструкция зонда)

Теплонасосная система теплоснабжения от вертикального грунтового теплообменника предназначена для подготовки воды на нужды отопления и горячего водоснабжения, и состоит из следующих компонентов (рисунок 2) [1]:

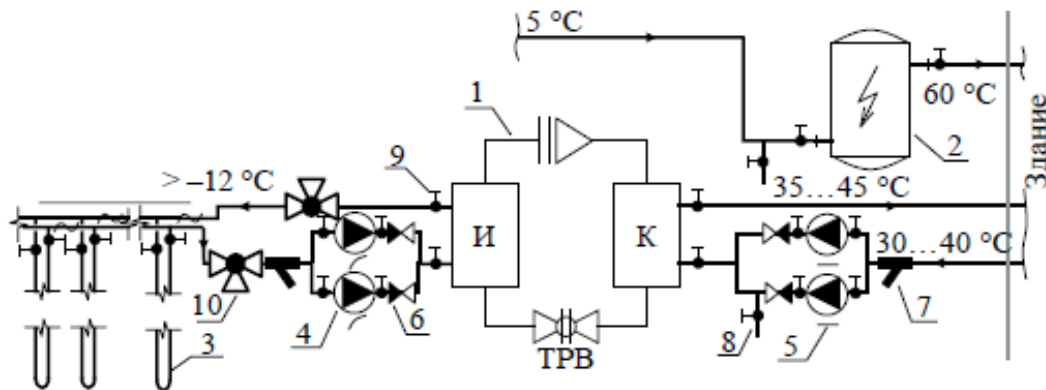
- грунтовый теплообменник с его обвязкой;
- тепловой насос с его автоматикой и обвязкой;
- грунтовый контур промежуточного теплоносителя, связывающий между собой тепловой насос и грунтовый теплообменник;
- циркуляционный насос грунтового контура с обвязкой;
- контур системы отопления с теплоносителем;
- циркуляционные насосы в контуре здания, с обвязкой;
- устройство для нагрева горячей воды;

Принцип работы теплонасосной системы следующий: тепловой насос (1, рисунок 2), представляющий собой холодильную машину, работающую по обратному циклу Карно [1], нагревает теплоноситель системы отопления, в то же время охлаждая промежуточный теплоноситель, поступающий из грунтового теплообменника, в котором он циркулирует по замкнутому контуру (3, рисунок 2). Проходя через грунтовый теплообменник, охлажденный теплоноситель вновь нагревается и поступает в тепловой насос. Отопительные приборы здания наоборот охлаждают нагретый для них теплоноситель, и он опять же поступает в тепловой насос.

Рассмотрим замкнутую теплонасосную систему, источником которой является грунт. В классификации ASHRAE такие системы называются, (GCHP Ground Coupled Heat Pump system).

В [2] теплонасосные системы делятся также по типу тепловых насосов. В грунтовом контуре может циркулировать вода или низкозамерзающая жидкость (применение в качестве теплоносителя грунтового контура воды на территории России — редкое явление), такие тепловые насосы маркируются как «вода–вода» (Water to water, Brine to water). Нагретая вода поступает в систему отопления, или нагревает воду для горячего водоснабжения. Если тепловой насос нагревает не воду, а воздух, он классифицируется как «вода–воздух» (Water to air, Brine to air). Такой тепловой насос может находиться на месте воздухоподогревателя в центральной установке кондиционирования воздуха, и тогда нагретый воздух будет поступать в систему воздуховодов для отопления нескольких помещений, или же низкозамерзающая

жидкость, выходя из грунтового теплообменника, напрямую попадает в один или несколько доводчиков моноблоков [3], который обогревает только то помещение, в котором установлен. Для двух перечисленных выше видов тепловых насосов испарителем в зимний период могут стать сами грунтовые теплообменники, пар из которых поступает прямо на всасывающую линию компрессора (системы прямого испарения, Direct-expansion, (DX) GCHP).



1 — тепловой насос, 2 — электродвигатель, 3 — поле грунтовых теплообменников, 4 и 5, циркуляционные насосы на стороне грунта и здания, 6 — обратные клапаны, 7 — фильтры, 8 — сливные клапаны, 9 — запорные шаровые краны, 10 — трёхходовые клапаны

Рисунок 2 - Схема системы теплонасосной системы теплоснабжения с грунтовым теплообменником

Считается, что наибольшую эффективность теплонасосные системы с вертикальным грунтовым теплообменником проявляют, когда работают целый год: зимой на отопление, летом на кондиционирование [4]. В этом случае грунт выполняет роль аккумулятора теплоты или холода. Летом охлаждённый за зиму грунт может являться источником для свободного холода, через параллельно подсоединённый теплообменник, или при помощи специального режима работы теплового насоса.

Таким образом, системы тепло- и холодоснабжения зданий, использующие низкопотенциальное тепло Земли, представляют собой надежный источник энергии, который может быть использован повсеместно. Этот источник может использоваться в течение достаточно длительного времени, и может быть возобновлен по окончании периода эксплуатации.

### Список литературы

1. Тимофеев, Д. В. Разработка метода расчета теплонасосных систем с грунтовым теплообменником для определения их энергетического ресурса : диссертация ... кандидата технических наук : 2.1.3. / Тимофеев Даниил Викторович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»]. - Москва, 2021. - 120 с..
2. Kavanaugh S. Geothermal heating and cooling: Design of Ground-Source Heat Pump systems / S. Kavanaugh, K. Rafferty. — Atlanta : ASHRAE, 2014..
3. Тарабанов М. Г. Кондиционирование воздуха: Часть 1 / М. Г. Тарабанов. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2015.
4. Васильев, Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли : монография / Григорий Васильев. - Москва : Граница, 2006. - 173 с.
5. Ильин А. К. Анализ переменных режимов работы тепловых насосов / А. К. Ильин, С. А. Дуванов // Вестник СГТУ. — 2004. — 4(5). — С. 51—58.



## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕВЕРСИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

*В статье представлены схемы реверсивной системы вентиляции и рассмотрены режимы работы данной вентиляции. На основании опубликованных материалов доказана возможность использования предлагаемой конструкции приточно-вытяжных устройств. Предложена оригинальная схема воздухообмена для вентиляции административных зданий и схема приточно-вытяжного устройства для этой системы, а также определены условия смены режимов работы системы и область ее применения. Сделан вывод, что при использовании данной системы вентиляции возможно обеспечить нормативный воздухообмен, при этом не применяя приточную установку в холодный период года, что позволит наиболее полно использовать потенциал естественных сил для обеспечения воздухообмена помещений.*

*Ключевые слова: реверсивная вентиляция, воздухообмен, приточно-вытяжная установка, естественный и реверсивный режим, холодный и теплый период года.*

Как показывает практика, для охлаждения помещения в летний период в административных зданиях устанавливаются местные системы охлаждения воздуха, известные как сплит-системы. При работе данных систем температура воздуха внутри помещения становится ниже наружной температуры, а поскольку в целях экономии холода, выделяемого системой, закрываются окна, то блокируется воздухообмен. Таким образом нарушается работа естественной вентиляции и в помещении создается неблагоприятный газовый режим, характеризующийся повышенной запыленностью и загазованностью воздуха. Применение гибридной реверсивной системы вентиляции решает эту проблему и способствует улучшению газового режима за счёт регулярного поступления свежего воздуха.

Гибридная система вентиляции с реверсивным движением воздуха представляет из себя систему, изменяющую направление движения воздуха и, соответственно, побудитель тяги в соответствии с метеорологическими условиями (при ХП – естественный, при ПП и ТП – механический) и микроклиматическими условиями в помещении. Движение воздуха происходит по тем же каналам, но направление движения меняется.

Данная система может работать в двух режимах: естественном и реверсивном.

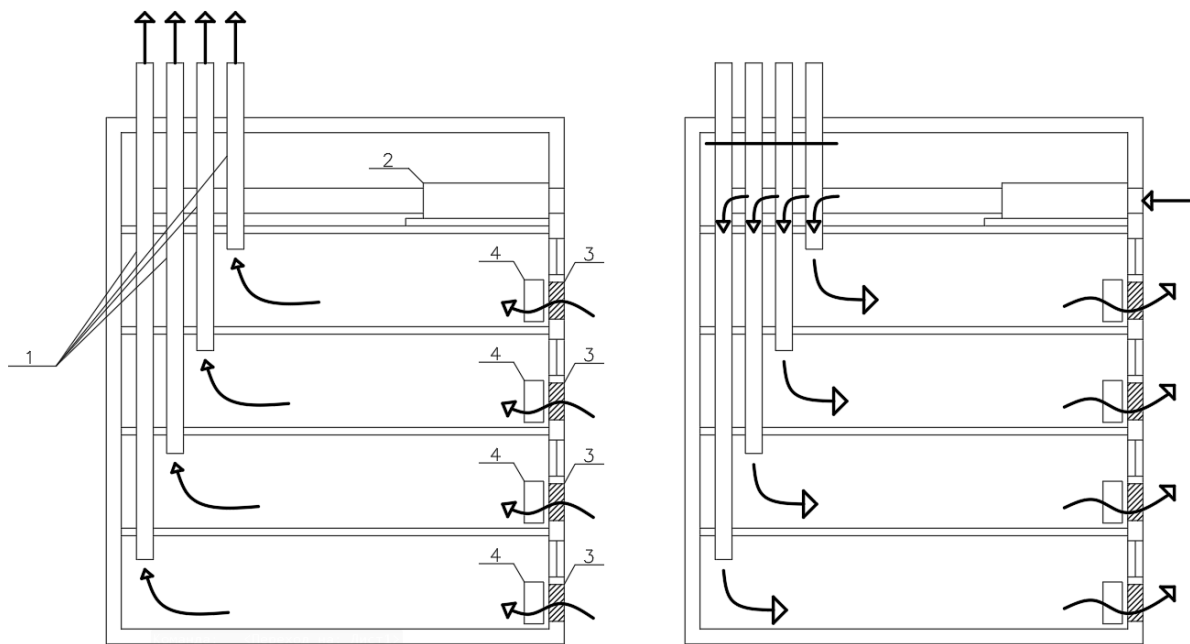
Естественный режим: В этом режиме система использует естественные факторы, такие как разница в температуре и давлении, чтобы обеспечить воздухообмен.

При естественном режиме (рисунок 1) поступление свежего воздуха в помещение выполняется при помощи индивидуальных приточно-вытяжных устройств, а после ассимиляции избытков влаги и тепла удаляется из них по вытяжным каналам. Холодный воздух нагревается посредством прохождения вблизи секций отопительного прибора.

Такой режим работы осуществим только в холодный период года, поскольку работает при условно положительном располагаемом давлении, которое в тёплый период года слишком мало для нормального функционирования системы вентиляции, в следствие чего она переключается в реверсивный режим. Таким образом режим работы системы вентиляции сменяется при температуре  $t_{н} = 8^{\circ}\text{C}$  и, соответственно, весь тёплый и переходный период года

система работает в реверсивном режиме. При таком режиме работы воздух поступает в расположенную на техническом этаже приточную установку (рисунок 2), где охлаждается до температуры  $t_{\text{охл}}$ , после чего попадает в помещение через индивидуальные вентиляционные каналы и, собрав все вредности в рабочей зоне, удаляется через приточно-вытяжные устройства.

Важным условием смены режимов работы является также то, что в холодный период воздух поступает без предварительной обработки в приточной установке, так как подогревается от поверхности отопительного прибора. Мощность отопительного прибора и конструкция приточно-вытяжной установки подбираются исходя из условия, что вода в системе отопления не должна замерзнуть. Принимая во внимание тот факт, что при достижении температуры  $t_{\text{н}} = 8^{\circ}\text{C}$  отопительные приборы отключаются и воздух, поступающий в помещение, будет холодным, что недопустимо. Следовательно, необходимо переключение режима и пропускание воздуха через приточную установку.

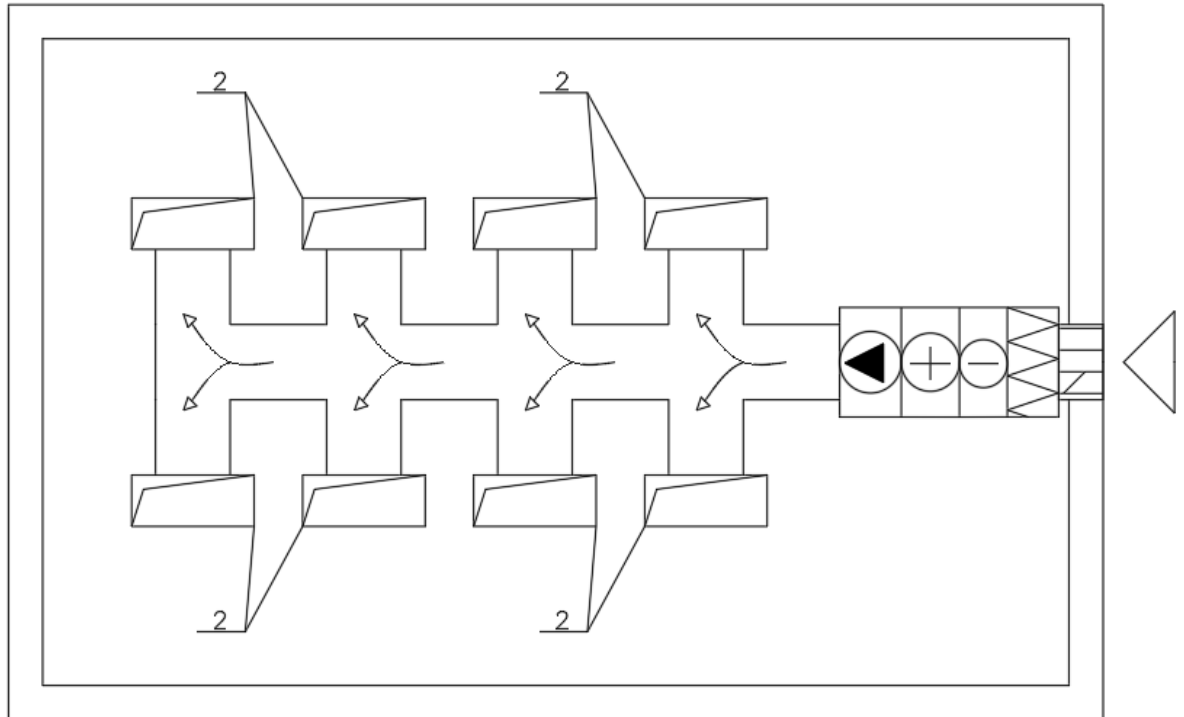


1 – индивидуальные вытяжные каналы, 2 – приточная установка, 3 – индивидуальные приточно-вытяжные устройства, 4 – отопительные приборы

Рисунок 1 – Слева – естественный режим работы, справа – реверсивный.

Следует отметить, что реверсивная система вентиляции не может применяться в жилых зданиях, так как при движении воздушных масс в обратном направлении, прежде чем поступить в чистое жилое помещение, приточный воздух будет проходить через санузел и кухню. Также данная система не может быть применена в том случае, когда удаляемая при естественном режиме вредность может оседать на стенках, поскольку при обращении движения в реверсивном режиме она попадет обратно в помещение вместе с приточным воздухом.

В жаркое время теплого периода года приточный воздух перед подачей в помещение необходимо не только очищать, но и охлаждать. Эти процессы происходят в приточной установке с охладителем и фильтром. Обработанный в установке воздух распределяется между помещениями при помощи системы каналов, изображенной на рисунке 2.

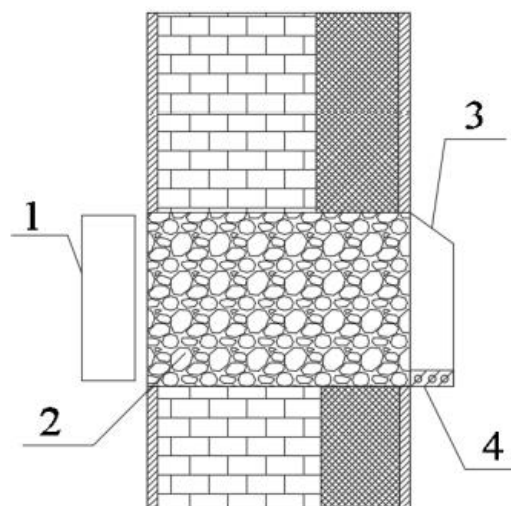


1 – магистральный канал, 2 – индивидуальные каналы системы вентиляции

Рисунок 2 – Схема плана чердачного помещения.

В холодный период приточная установка не работает, а выброс воздуха на улицу осуществляется через автоматически открываемые клапаны, что располагаются в вентиляционных каналах. В теплый и переходный период эти клапаны закрываются, и приточная установка подает воздух в помещения без утечек на улицу. В целях экономии холода, выделяемого приточной установкой в теплый период, все воздуховоды должны быть утеплены. [3]

Схема приточно-вытяжного устройства системы вентиляции представлена на рисунке 3.



1 – отопительный прибор, 2 – воздухопроницаемый элемент, 3 – ветроотбойный щиток, 4 – защитная сетка.

Рисунок 3 – Конструкция приточно-вытяжного устройства

В качестве воздухопроницаемого элемента индивидуального приточно-вытяжного устройства предлагается использовать пористый материал, который позволит устройству пропускать расчетный объем воздуха.

Так как количество воздуха, фильтрующегося через пористый материал, зависит от перепада давления между наружным и внутренним воздухом, то для обеспечения постоянства расхода в конструкции приточно-вытяжного устройства предусмотрен регулирующий клапан.

Степень открытия створок клапана принимается исходя из величины перепада давления, формирующегося между наружной стороной приточно-вытяжного устройства и оголовком вентиляционной шахты. Этот перепад определяется аналитически на основании данных о скорости и направлении ветра, температуры наружного воздуха и численных решениях внешней задачи воздушного режима здания или по существующим эмпирическим зависимостям, представленным в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

При отрицательном перепаде давления в холодный период года клапан должен находиться в закрытом состоянии, так как эксфильтрация внутреннего воздуха через пористый материал приведет к его увлажнению и снижению пропускной способности приточно-вытяжного устройства. При относительно длительной эксфильтрации может происходить выпадение капельной влаги в толще воздухопроницаемого материала с ее последующим замораживанием и нарушением пористой структуры проницаемого элемента [2].

Исследования гидравлического и теплового режима пористых материалов реверсивных теплообменников представлены в публикациях [4, 6-7, 9]. Публикации [5, 8, 10] посвящены исследованию тепловых и гидравлических характеристик регулярных и нерегулярных засыпок, также отчасти являющихся пористыми материалами, которые могут быть применены для заполнения проницаемого элемента индивидуального приточно-вытяжного устройства. На основании этих исследований можно утверждать, что пористые материалы и засыпки применимы для фильтрации вентиляционного воздуха.

Наблюдается также и существующая на протяжении 25 лет тенденция установки приточных клапанов в наружные ограждения с целью повышения воздухообмена в помещениях с системами естественной и механической вентиляции. В отношении применения приточных клапанов мнения исследователей различны. Так, например, в публикациях [11-12] авторы относятся к ним положительно, а в публикациях [13- 14] имеет место диаметрально противоположная точка зрения.

Одной из проблем приточных клапанов является малая площадь сечения отверстия для прохождения приточного воздуха, которая формирует струю, попадающую в рабочую зону помещения с недопустимыми по санитарным нормам параметрами.

В рассматриваемом индивидуальном приточно-вытяжном устройстве, заполненном пористым материалом, благодаря большой площади поперечного сечения, создается равномерное поле малых скоростей воздуха (до 0,05 м/с). Это позволяет быстро и безопасно подогреть его отопительным прибором, чем исключается формирование локально переохлажденных зон в обслуживаемом помещении.

### **Список литературы**

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : монография / В. Н. Богословский. – М.: Изд. Высшая школа, – 415 с.
2. Дудникова И. В. Система реверсивной вентиляции для административных зданий // Вестник магистратуры. – 2020. – №2-2(101). – С. 85–89.
3. Кравчук В. Ю. Повышение эффективности вентиляции административного здания с применением воздухопроницаемых элементов в наружных ограждениях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03./ В. Ю. Кравчук. – М., 2019 - 185 с.
4. Nakoryakov, V. E. Investigations of nonstationary heat exchange for filtration in pervious media / V. E. Nakoryakov, V. A. Mukhin, N. N. Smirnova // Journal of engineering thermophysics. 1992. №2 (2). С. 103-119.

5. Dekhtyar R. A. Heat transfer in a packed bed at moderate values of the Reynolds number / R. A. Dekhtyar, D. Ph. Sikovsky, A. V. Gorin, V. A. Mukhin // High temperature. 2002. №5 (40). С. 693-700.
6. Gorin A. V. Turbulent heat and mass transfer in complex geometry channels // отчет НИИР/НИОКР. 1999.
7. Nizovtsev M. I. Regenerative heat exchanger with a periodic change in the airflow direction for room ventilation / M. I. Nizovtsev, V. Y. Borodulin, V. N. Letushko // Thermophysics and Aeromechanics. 2015. №6 (22). - С. 785-796.
8. Mezentsev I. V. Теплообмен в зернистых средах при реверсивных режимах фильтрации // Молодой ученый. 2010 № 10. С. 17-20.
9. Mezentsev I. V. Experimental study and mathematical modeling of heat transfer processes in heat accumulating media / I. V. Mezentsev, N. V. Vernikovskaya, Yu. I. Aristov, V. A. Mukhin // Thermophysics and Aeromechanics. 2006. №3 (13). С. 435-442.
10. Титов В.П., Парфентьева Н.А., Медведева Е.В. Пористый регенеративный теплообменник с неподвижной насадкой // Водоснабжение и санитарная техника. 1981. №4. С. 27-28.
11. Ватин Н. И. Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов: учеб. пособие / Н. И. Ватин, Т. В. Самопляс. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 44 с. 25. Zhilina T.S. Efficiency of natural ventilation in residential buildings / T.S. Zhilina, S.D. Vyatkina, Yu.S. Vyatkina // Фундаментальные исследования. 2017. №7. С. 25-29.
12. Bodrov M. V. Determining the actual performance of natural ventilation systems with a vertical gathering main of multifamily houses / M.V. Bodrov, V. P. Boldin, V. Yu. Kuzin, M. N. Kucherenko // Приволжский научный журнал. 2015. - №1(33). - С. 54-59.
13. Рымаров А. Г., Кравчук В. Ю. Исследование применения воздушных клапанов в квартире жилого здания в холодный период // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2016. №12 (180). - С. 70-71.
14. Ильин, И. В. Влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней / И. В. Ильин, И. Ю. Игнаткин, М. Г. Курячий // Эффективное животноводство. - 2011. - №7. - С. 30-31.

УДК 628.84

**Бубельный Кирилл Эдуардович,**  
**Писаревский Константин Александрович,**  
магистранты кафедры ТТГВ;  
**Колосова Нелли Вадимовна,**  
к.т.н, доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА В ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ**

*Осушение воздуха в бассейнах - важный процесс, который необходим для поддержания комфортных условий для посетителей. В бассейнах, где вода нагревается до 30°C, влажность воздуха может быть очень высокой. Это может привести к конденсации влаги на стенах, потолке и других поверхностях зала бассейна. Осушение воздуха в бассейнах играет важную роль в создании комфортных условий для посетителей. Слишком высокая влажность может вызывать дискомфорт. В залах бассейнов осушение воздуха проектируется совместно с системой вентиляции. Осушение воздуха позволяет снизить влажность до приемлемого уровня, предотвратить образование конденсата и создать комфортный микроклимат в зале бассейна для отдыха и занятий спортом.*

*Ключевые слова: вентиляция, приточно-вытяжная установка, влажность воздуха, осушение воздуха*

Вентиляция плавательных бассейнов должна обеспечивать регламентируемые параметры микроклимата и воздухообмена в помещении, к которым относится постоянная температура воздуха, влажность, подвижность воздуха [1]. Наличие в помещениях плавательного бассейна поверхностей стен с температурой ниже, чем температура точки росы приводит к выпадению на них конденсата, что способствует образованию грибков и плесени. Правильно запроектированная вентиляция плавательных бассейнов предотвращает коррозию и плесень за счет контроля влажности воздуха. В бассейнах особенно важна эффективная вентиляционная система, работающая непрерывно для поддержания оптимальных параметров воздуха.

Испарение влаги с поверхности зеркала воды в бассейнах и других поверхностях в помещении, является ключевым фактором, влияющим на влажность воздуха. Интенсивность испарения влаги зависит от различных параметров, включая площадь поверхности зеркала воды, температуру и влажность воздуха, скорость потока воздуха и активность людей. Для расчета количества испаряемой влаги используются различные формулы [2, 3, 4].

Воздух, подаваемый в помещение зала бассейна, подготавливается в приточной или в приточно-вытяжной установке, в состав которых входят фильтр, воздухонагреватель и воздухоохладитель, вентилятор и вспомогательное оборудование. Приточные установки, применяемые для помещений с повышенной влажностью, должны оборудоваться осушителем воздуха. Так же возможно применение приточно-вытяжной установки с рекуператором.

Выбор системы вентиляции зависит от размеров бассейна, объема помещения, количества посетителей, а также других технических параметров.

Применяются различные схемы осушения воздуха в приточных и приточно-вытяжных установках. По конструктивному исполнению осушители для бассейнов бывают настенного (напольного) и канального типов.

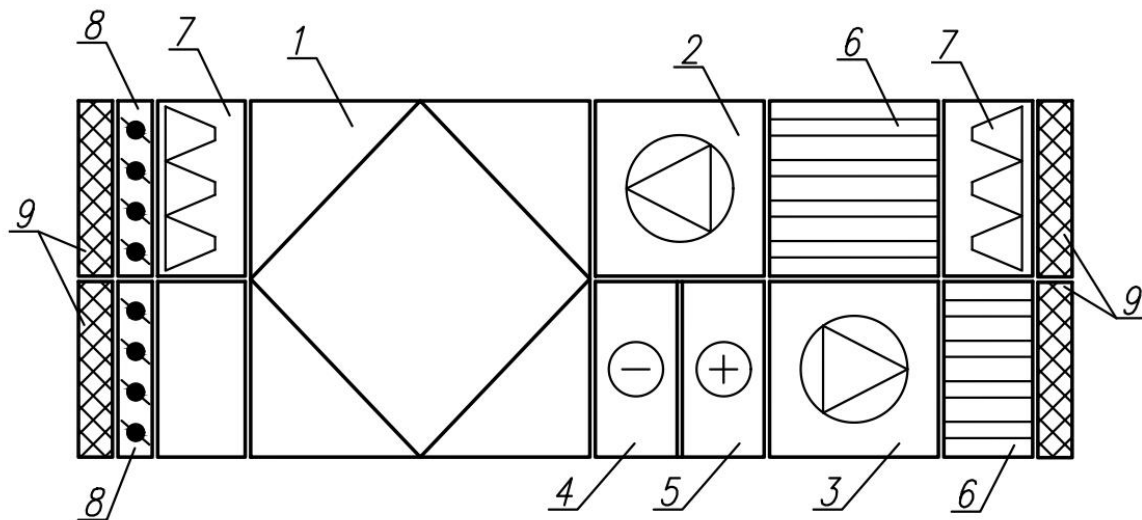
Осушители воздуха в залах бассейнов зачастую применяются компрессионного типа (конденсационные осушители). Хладагент, находящийся в испарителе под низким давлением, поглощает теплоту приточного воздуха. При этом на холодных стенках конденсируется влага из воздуха. Далее хладагент сжимается в компрессоре (повышается давление), и поступает в конденсатор, в котором отдается теплота. Хладагент переходит в жидкое состояние. После

этого хладагент проходит через дроссельный клапан, где понижается давление и падает температура. Далее хладагент поступает в испаритель и цикл повторяется [5].

Для помещений с бассейнами с площадью от 15 до 40 м<sup>2</sup> проектируется вентиляция с приточно-вытяжной установкой без осушителя воздуха. В данных помещениях устанавливаются настенные осушители.

Для помещений с площадью зеркала бассейна свыше 50 м<sup>2</sup> используют канальные осушители воздуха. Влажный воздух забирается из зала бассейна, обрабатывается в осушителе, после к нему подмешивается свежий уличный воздух. Удаление воздуха происходит вытяжной системой вентиляции. Монтаж оборудования данного способа осушения воздуха прост.

Для общественных плавательных бассейнов система вентиляции должна обеспечивать санитарно-гигиенические нормы [1]. Для общественных бассейнов применяется механическая приточно-вытяжная вентиляция. Возможно применение отдельной приточной и вытяжной систем. Недостаток данной системы является высокий расход энергии на нагрев наружного воздуха. Экономически выгодна установка приточно-вытяжной установки с рекуператором. Схема приточно-вытяжной установки, применяемой для подготовки воздуха в залах бассейнов изображена на рисунке 1.



1 – пластинчатый рекуператор; 2 – вытяжной вентилятор; 3 – приточный вентилятор;  
4 – охладитель; 5 – воздушный нагреватель; 6 – шумоглушитель; 7 – воздушный фильтр; 8 –  
воздушная заслонка; 9 – гибкая вставка

Рисунок 1 – Схема приточно-вытяжной установки

В канальном осушителе происходит охлаждение воздушного потока ниже точки росы, при котором влага из воздуха конденсируется и оседает на холодных поверхностях охладителя. Приточный воздух пропускается через осушитель, после чего он подогревается до необходимой температуры.

Был выполнен расчет расхода воздуха для теплого и холодного периодов для помещения зала бассейна. Площадь помещения составляет 540 м<sup>2</sup>, высота помещения 9 м, площадь зеркала воды 350 м<sup>2</sup>. Площадь обходных дорожек принимается 20% от площади поверхности воды и равна 70 м<sup>2</sup>. Количество пловцов принимается 40 человек. Расчет выполнялся по методике приведенной в [4] и сводится в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет расхода воздуха для теплого и холодного периодов для помещения зала бассейна

Параметр	Единицы измерения	Холодный период	Теплый период
Температура наружного воздуха	°С	-19	29
Температура внутреннего воздуха	°С	30	30
Влажность наружного воздуха	%	30	48
Влагосодержание приточного воздуха	г/кг	9	12
Влажность внутреннего воздуха	%	60	60
Влагосодержание внутреннего воздуха	г/кг	15,9	15,9
Влагопоступление от зеркала воды	кг/ч	143,0	143,0
Влагопоступление от обходных дорожек	кг/ч	2,8	2,8
Влагопоступление от пловцов	кг/ч	8,04	8,04
Суммарное количество испарившейся влаги	кг/ч	153,8	153,8
Полное теплопоступление	кВт	385,7	438,7
Воздухообмен по влагопоступлениям	м <sup>3</sup> /ч	18580	32874
Воздухообмен по полным теплопоступлениям	м <sup>3</sup> /ч	17683	34131

Расход удаляемой влаги из воздуха составляет 156 кг/ч в теплый и холодный период. Сравнение схемы осушения воздуха в приточно-вытяжной установке со схемой применения колонных воздухоосушителей, установленных в зале бассейнов, использование первого варианта целесообразней. Для осушения такого количества воздуха необходима установка нескольких колонных воздухоосушителей в зале бассейнов, что может вызвать затруднение с архитектурной стороны.

Обеспечение безопасного и комфортного использования закрытого бассейна - это задача, требующая комплексного подхода при проектировании инженерных сетей. Правильная система вентиляции и осушение воздуха играют ключевую роль в поддержании оптимальных параметров влажности и воздухообмена. При выборе оборудования необходимо учитывать специфику помещения и особенности эксплуатации, чтобы создать здоровую и безопасную среду для занятия спортом и отдыха.

### Список литературы

1. СП 310.1325800.2017 Бассейны для плавания Правила проектирования : издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26 декабря 2017 г. № 1716/пр и введен в действие с 27 июня 2018 г.
2. Староверов, И.Г. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть II. Вентиляция и кондиционирование воздуха // Под редакцией И.Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1977 г. - 505 с.
3. Каплер, Х. П. Индивидуальный бассейн. Справ. Пособие / Пер, с нем. Е. Ш. Фельдман, Д. Г. Копелянский: Под ред. Е.М. Лось. – М.: Стройиздат. 1993. - 96 с.



4. Краснов, Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям, наладке // Ю.С. Краснов, А.П. Борисоглебская, А.В. Антипов – М.: Термокул, 2004. – 373 с.

5. Рей, Д Тепловые насосы: Пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмайл. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

УДК 697.326

Лукиянов Александр Васильевич,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры ТТГВ;  
Рыбак Данил Эдуардович,  
ассистент кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ВИДОВ И ДОЗ КОМПЛЕКСОНОВ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

*Аннотация: статья посвящена изучению различных видов и доз комплексонов для водоподготовки котельных установок с целью повышения их эффективности. В работе рассматривается влияние комплексонов на образование накипи, коррозию и теплообменные процессы в системах водоснабжения котельных. Результаты изучения современных исследований и публикаций показывают, что применение комплексонов способно существенно улучшить работу тепловых энергоустановок. Оптимальный выбор видов и доз комплексонов зависит от множества факторов, что требует дальнейших исследований. В работе предложена схема установки для изучения оптимальных концентраций и видов комплексонов для водоподготовки в теплоснабжении. Работа имеет практическое значение для повышения надежности и эффективности котельных, а также снижения эксплуатационных расходов.*

*Ключевые слова: комплексоны, водоподготовка, котельные установки, накипь, коррозия, теплообмен, эффективность, безопасность, эксплуатационные расходы*

### Формулировка проблемы

В современной теплоэнергетике основные расходы связаны с обслуживанием оборудования. Традиционные методы уже не всегда эффективны и экономичны. Важным аспектом в этой области является использование комплексонов для подготовки воды в котельных. Эти соединения могут значительно улучшить качество обслуживания и снизить затраты на обслуживание оборудования. В данной статье рассматривается применение комплексонов для оптимизации работы котельных и улучшения эффективности водоподготовки.

Актуальность проблемы весьма высока в настоящее время, так как на состав поверхностных и подземных вод существенное влияние оказывают сбросы сточных вод и различных отходов промышленных предприятий, в результате чего происходит загрязнение воды разнообразными химическими соединениями неорганического и органического характера, что отрицательно отражается на объектах теплоэнергетики. Значит необходимо постоянное совершенствование технологии подготовки воды и водно-химических режимов на котельных и ТЭС [1]. Один из возможных путей решения проблемы – подготовка исходной воды с помощью комплексонов.

Комплексоны — это компоненты, составленные из центрального атома или иона, обычно металла, и одного или нескольких лигандов, таких как молекулы, ионы или атомы, которые образуют с ним комплекс. Комплексоны являются важными в химии координационных соединений, поскольку они обладают уникальными свойствами и могут использоваться в различных химических процессах.

Комплексоны обладают способностью образовывать прочные соединения с металлами, содержащимися в растворенных солях, которые не разрушаются даже при высоких температурах. Они не удаляют накипь, а лишь предотвращают её образование и могут разрушать уже существующие отложения. Накипь образуется из-за повышения температуры воды, где ионы Ca, Mg, Fe являются центрами кристаллизации. Когда комплексон вводится в

эту среду, он взаимодействует с ионами, разрушая связи и вызывая разрушение отложений. Этот процесс контролируем и может быть проведен без остановки оборудования. Разрушенные отложения оседают в застойных зонах, поэтому необходимо регулярно проводить очистку фильтров и отстойников. Метод реагентной водоподготовки эффективен против накипи и уменьшает коррозионную активность воды, что позволяет снизить требования к деаэрации воды [2].

#### **Анализ последних исследований и публикаций**

Синтез первых комплексонов относится к концу XIX в. В 20 - 30 годы прошлого века методы их получения совершенствуются в связи с тем, что они нашли практическое применение. Началом промышленного производства комплексонов можно считать 1930 год, когда германская фирма "I.G. FarbenIndustry" выпустила на мировой рынок два химических реагента для умягчения воды. Комплексоны были запатентованы и появились на рынке под стандартным названием "ТРИЛОН" - «ТРИЛОН А», и «ТРИЛОН Б». В 1940 - 1980 годы происходит бурный рост производства комплексонов, их выпуском занимается более 50 крупнейших фирм и компаний США, Швейцарии, Японии, Германии, Венгрии и других стран. Ассортимент ведущих фирм в настоящее время составляет более 200 наименований, и широко используется в теплообменниках надводных и подводных судов с атомными реакторами, на тепловых и атомных электростанциях, в системах охлаждения судовых двигателей, и двигателях автомашин. А также в сельском хозяйстве, медицине, нефтяной, газовой и пищевой промышленности.

Применение на объектах теплоснабжения находят комплексоны комбинированного действия, обеспечивающие одновременно противонакипный и антикоррозийный эффект (ОЭДФ-Zn, ЗФЦ-Жз, композиция ККФ, реагенты серии «Аква-М» и др.). Комплексоновые технологии водоподготовки для тепловых сетей, при условии экспериментального подтверждения их эффективности на конкретном объекте, имеют очевидные преимущества перед традиционными (Na-катионирование, деаэрация):

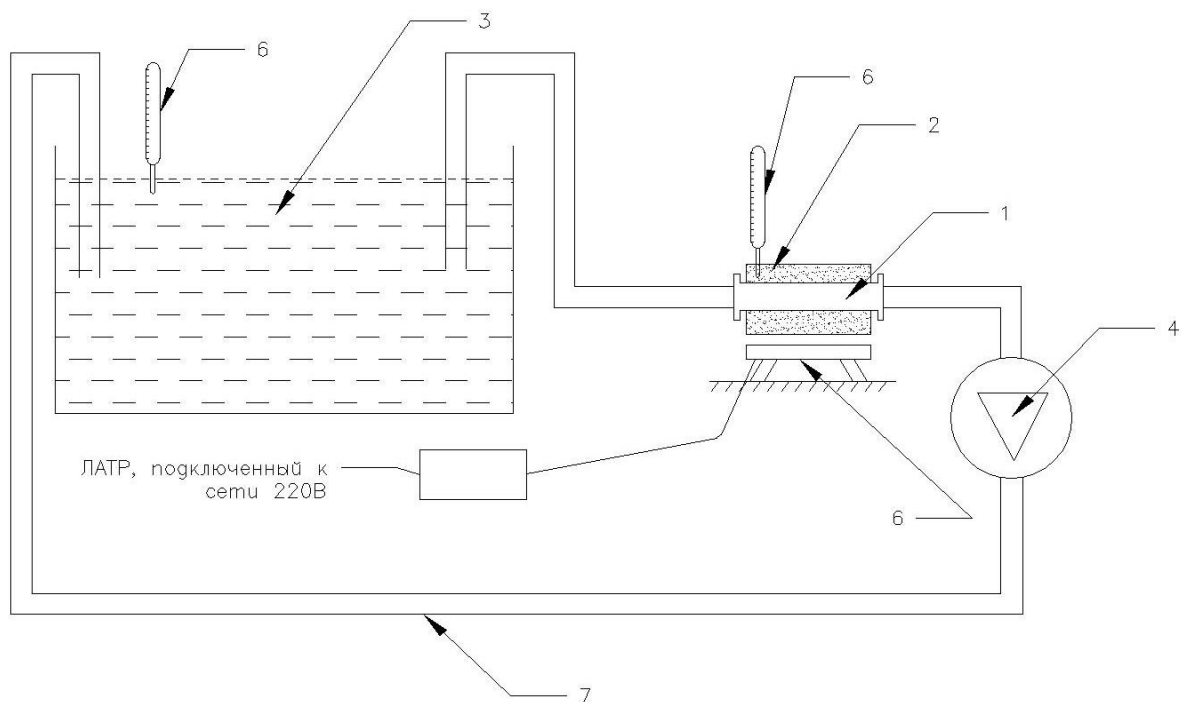
- резко упрощается эксплуатация;
- снижаются затраты на подготовку воды (при небольшой величине подпитки);
- снижается загрязнение окружающей среды;
- присутствует эффект отмывки ранее скопившихся отложений;
- процесс дозирования возможно автоматизировать при должном изучении влияния различных доз и видов комплексонов на солевые отложения.

Последнее обстоятельство особенно важно для современных автоматизированных котельных, работающих без постоянного присутствия обслуживающего персонала [3]. Но широкое распространение этого способа было ограничено отсутствием надежных, автоматических дозирующих систем.

#### **Основная часть**

К сожалению, несмотря на массу выпускаемой отечественной промышленностью автоматических дозаторов, ни один из них не отвечает своему назначению в полной мере. Как правило, после непродолжительного срока эксплуатации вся автоматика выходит из строя. И впоследствии данные установки используются, что называется «вручную», т.е. в качестве обыкновенного насоса до тех пор, пока не будет достигнута необходимая концентрация. Отсутствие по-настоящему надежного образца автоматического дозирования, по сути, является главным препятствием на пути широкого распространения комплексоновой технологии[4].

Прежде, чем создавать установку для автоматической подачи доз комплексонов, необходимо изучить влияние различных видов и доз комплексонов на солевые отложения в исходной воде. Для этого предлагается использовать установку, представленную на рисунке 1.



1 – индикатор накипеобразования; 2 – песчаная баня; 3 – стеклянный бак; 4 – циркуляционный насос; 5 – термометр; 6 – электропечь, 7 – силиконовый шланг.

Рисунок 1 - Лабораторная установка

Индикатором накипеобразования здесь выступают 3 отрезка трубы диаметром 8 мм из нержавеющей стали.

Методика опыта:

1. Перед началом опыта индикатор (3 трубки) промываются водой, 1% раствором серной кислоты, затем дистиллированной водой.
2. Индикатор высушивается в сушильном шкафу и взвешивается на аналитических весах, устанавливается в лабораторную установку.
3. Водопроводная вода заливается в бак и с помощью ТЭНа нагревается до заданной температуры.
4. В воду добавляется раствор комплексона заданной концентрации.
5. С помощью циркуляционного насоса вода постоянно циркулирует через индикатор накипеобразования на всем протяжении опыта (3-5 суток). Уровень воды в баке поддерживается постоянным путем добавления водопроводной воды.
6. После окончания опыта индикатор накипеобразования высушивается в сушильном шкафу и взвешивается на аналитических весах.
7. Разница между массой образца перед и после опыта дает массу образовавшейся накипи.

В ходе опытов переменными будут служить:

1. Температура воды.
2. Вид комплексона.
3. Дозировка определенного вида комплексона.

### **Выводы**

Изучение различных видов и доз комплексонов для водоподготовки котельных установок представляет собой важное направление исследований в области обеспечения эффективности работы тепловых энергоустановок. Применение комплексонов способно значительно снизить образование накипи, предотвратить коррозию и улучшить теплообменные процессы в системах водоснабжения котельных, однако препятствием для этого служит недостаточная изученность процессов действия комплексонов на солевые отложения на длительном промежутке времени.

Оптимальный выбор видов и доз комплексонов для конкретной котельной зависит от множества факторов, таких как состав воды, тип используемого оборудования, условия эксплуатации и другие. Дальнейшие исследования в этой области позволят углубить понимание механизмов действия комплексонов, оптимизировать их применение и разработать более эффективные методики водоподготовки.

### **Список литературы**

1. Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, В.И. Гриценко, М.А. Таран. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие / Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, В.И. Гриценко, М.А. Таран. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 384 с.
2. А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. Водоподготовка в энергетике [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 310 с.
3. О. В. Жданов. Опыт оптимальной организации водно-химического режима отопительных котельных малой и средней мощности // «Новости теплоснабжения». - 2007. - №5 – 16 с.
4. А. А. Голофастов. Комплексоны в средней и малой теплоэнергетике. Теория – практика – перспективы. // водоподготовка на котельной URL: <https://teplo-ximia.narod.ru/> (дата обращения: 05.02.2024).

УДК 662. 6

Тихонов Владислав Романович,  
Институт гражданской защиты  
ФГБОУ ВО ЛГУ им. В.ДАЛЯ;  
Научный руководитель  
к.т.н., доцент Красногрудов А.В.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КИНЕТИКИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

*Рассмотрены физические основы кинетики сжигания твердых топлив, их преимущества перед другими видами топлив. Отмечено, что горение твердого топлива, такого как уголь, древесина или торф, может вызывать ряд экологических проблем обусловленных выделением парниковых газов (CO<sub>2</sub>). Поэтому важно поддерживать исследования и внедрение новых технологий, которые позволят сократить негативное воздействие сжигание угольного топлива на окружающую среду и обеспечить более устойчивый и эффективный энергетический процесс.*

*Детально рассмотрен процесс горения углерода. Подчеркнуто, что на кинетику горения большое влияние оказывает структура углеродного материала. Представлен механизм выгорания углеродных частиц, формула для расчета скорости реакции.*

*Ключевые слова: твердое топливо, горение, кинетика, преимущества, область применения, скорость горения*

*The physical basis of the kinetics of combustion of solid fuels and their advantages over other types of fuels are considered. It has been noted that the combustion of solid fuels such as coal, wood or peat can cause a number of environmental problems due to the release of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>). It is therefore important to support research and implementation of new technologies that will reduce the negative impact of coal combustion on the environment and provide a more sustainable and efficient energy process.*

*The process of carbon combustion is examined in detail. It is emphasized that the structure of the carbon material has a great influence on the combustion kinetics. The mechanism of combustion of carbon particles and the formula for calculating the reaction rate are presented.*

*Key words: solid fuel, combustion, kinetics, advantages, scope of application, burning rate*

**Введение.** Твердое топливо – это вид топлива, который находится в твердом состоянии при комнатной температуре и давлении. Это включает в себя различные виды твердых материалов, которые могут использоваться в качестве источника энергии при горении. Наиболее распространенными видами твердого топлива являются уголь, древесина, торф, брикеты, твердые биотоплива и другие [1, 2].

Твердые топлива обладают высокой плотностью энергии и широко используются для отопления домов, котельных и промышленных процессов. Их преимущества включают относительную дешевизну, долгий срок хранения и стабильность. Однако их использование также связано с проблемами, такими как выбросы вредных веществ при горении и экологические вопросы, такие как выработка парниковых газов и загрязнение воздуха [2, 6].

Твердые виды топлива, такие как древесные блоки, уголь, брикеты и т.д., имеют свои преимущества, которые могут быть важными в различных ситуациях: долгий срок горения, экономичность, надежность в экстремальных условиях, возобновляемость. Однако стоит

отметить, что каждый тип топлива имеет свои недостатки и преимущества, и выбор того или иного зависит от конкретных потребностей, технологических возможностей и экологических требований.

При этом, по мнению экологов, именно при сжигании угля в атмосферу выделяется больше всего вредных веществ: угарный газ, сажа. Особенно злободневна эта проблема для регионов, где уголь используется как основной вид топлива. Все дело в том, что уголь никогда не сгорает полностью. Эту проблему не один десяток лет пытаются решить ученые во всем мире. Все, чего удалось добиться за это время ученым, так это лишь разработать технологии, позволяющие сгорать в топках только трети от общей массы этого твердого топлива.

Горение твердого топлива, такого как уголь, древесина или торф, может вызывать ряд экологических проблем: Выделение парниковых газов (горение твердого топлива является источником выбросов углекислого газа ( $CO_2$ ), который является основным парниковым газом. Это способствует изменению климата и глобальному потеплению), выбросы токсичных веществ (горение твердого топлива может приводить к выбросам токсичных веществ, таких как оксиды азота ( $NO_x$ ), диоксид серы ( $SO_2$ ), тяжелые металлы и другие вредные вещества. Эти вещества могут загрязнять воздух и вредить здоровью человека, а также вызывать кислотные дожди), пыль и частицы в воздухе.

Российские ученым удалось найти более эффективный способ сжигания этого ископаемого топлива использованием добавок или, точнее, в катализаторов. Именно благодаря им исследователям удалось добиться прорывных результатов [2, 4, 5]. Угля в топках стало сгорать на треть больше, а выброс угарного газа сократился более чем на сорок процентов.

Совершенствование процесса сжигания угольного топлива является актуальной задачей с точки зрения экологии, эффективности и снижения вредных выбросов. Основные направления, в которых идет работа по улучшению этого процесса: технологии чистого сжигания, комбинированные системы, совершенствование систем улавливания и очистки (улучшение технологий для улавливания и очистки вредных веществ, таких как диоксид серы ( $SO_2$ ) и оксиды азота ( $NO_x$ ), чтобы снизить воздействие на окружающую среду), развитие углетермических технологий (исследование и внедрение углетермических технологий, таких как газификация угля или использование угля в процессах сжигания с интеграцией с технологиями очистки газов [4, 6].

Важно поддерживать исследования и внедрение новых технологий, которые позволят сократить негативное воздействие угольного сжигания на окружающую среду и обеспечить более устойчивый и эффективный энергетический процесс.

Дальнейшее совершенствование сжигания угольного топлива может быть основано на глубоком изучении этого процесса [1, 7]. Процесс включает в себя несколько стадий:

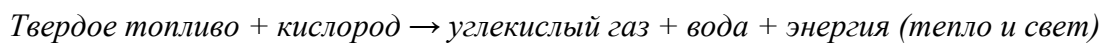
- предварительный прогрев топлива и испарение гигроскопической влаги;
- пирогенное разложение сложных высокомолекулярных соединений и выделение летучих веществ;
- горение летучих веществ в районе куска (частицы) твердого топлива, что вызывает его дальнейший нагрев;
- воспламенение коксовой частицы при температуре 300 – 1000°C;
- выгорание коксовой частицы.

При этом необходимо отметить, что воспламенение летучих частиц происходит при наличии окислителя и при условии, что температура газовой среды, окружающей частицу, превышает температуру воспламенения горючих газообразных соединений, входящих в их состав.

Таким образом, чем выше выход летучих веществ, тем легче зажигание твердого топлива. Эта закономерность наблюдается на практике топливо с высоким выходом летучих, например, бурый уголь, каменный уголь марок Д и Г воспламеняются чрезвычайно легко, в то время как антрацит, имеющий в классе твердых топлив наименьший выход летучих (менее 9 %) воспламеняется крайне тяжело.

**Изложение основного материала.** Реальное топливо имеет полидисперсный состав, что наиболее ярко проявляется для угольной пыли. Поэтому при горении прогрев частиц твердого топлива и все перечисленные выше процессы протекают для разных частиц неодновременно и накладываются друг на друга.

Процесс горения твердой частицы - это химическая реакция окисления, которая происходит при взаимодействии твердого вещества с кислородом. Этот процесс обычно сопровождается выделением тепла и света. Реакция горения часто описывается следующим уравнением



Процесс горения включает в себя несколько этапов: инициация, разложение: комбинация с кислородом, выделение тепла и света [1, 3].

Энергия, высвобождающаяся в результате химической реакции, проявляется в виде тепла и света. Это именно та энергия, которая делает процесс горения полезным, например, в случае использования твердого топлива для обогрева или генерации энергии.

Процесс горения твердой частицы играет решающую роль при оценке суммарного времени горения топлива и общего тепловыделения. Даже для топлив с наибольшим выходом летучих доля тепла от выгорания кокосовой частицы превышает 60% от общего тепловыделения.

Доля нелетучего углерода, который остается после выделения летучих компонентов, может быть ориентировочно определена как

$$C_{nr} = C^p - 0,375O^p - 3H^p - 0,1875 k_s S^p. \quad (1)$$

В качестве летучих газов в зоне возгонки выделяются  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $C_mH_n$  и др. Причем в процессе термического разложения твердых топлив сначала выделяются влага, затем тяжелые углеводороды, что сопровождается выходом смол, по мере увеличения температуры процесса выделяются более легкие соединения. В ряде работ предложено считать, что итоговый состав летучих включает в себя  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ . Выход этих компонентов ( $m^3/kg$ ) можно рассчитать по следующим формулам:

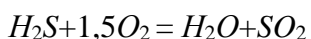
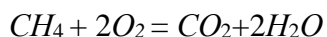
$$\begin{aligned} V_{H_2S} &= 0,007 k_s S^p; \\ V_{CH_4} &= 0,056 H^p - 0,0035 k_s S^p; \\ V_{N_2} &= 0,008 N^p; \\ V_{CO_2} &= 0,007 O^p; \\ V_{H_2O} &= 0,0124 W^p, \end{aligned} \quad (2)$$

где:  $C_p$ ,  $H_p$ ,  $N_p$ ,  $O_p$ ,  $S_p$ ,  $W_p$  – содержание углерода, водорода, азота, кислорода, серы, влаги в рабочем составе топлива соответственно;

$k_s$  – коэффициент, характеризующий распределение серы между соединениями. Принимается равным 0,1 – 0,5.



Горение летучих соединений протекает по следующим итоговым экзотермическим реакциям:



Горение коксового остатка топливной частицы является наиболее продолжительным этапом выгорания топлива. Этот процесс определяется как кинетикой горения, так и диффузионным переносом кислорода и продуктов горения у поверхности частицы [3, 4].

На кинетику горения большое влияние оказывает структура углеродного материала. Углерод кокса – практически чистый углеродный материал, по своей структуре близкий к графиту, представляющему собой аморфное углеродное образование со структурой, состоящей из хаотически расположенных кристаллитов. Размеры кристаллитов в графите варьируются в пределах от десяти до десятков тысяч ангстрем. Также, необходимо отметить, что поверхность коксового остатка частицы топлива изрезана огромным количеством микротрещин и пор разнообразной формы и структуры. Поры, проникая глубоко внутрь углеродной частицы и соединяясь между собой, образуют значительную внутреннюю поверхность, которая в ряде случаев превышает внешнюю. Если организован доступ окислителя к внутренней поверхности частицы – происходит внутренне реагирование.

Механизм взаимодействия поверхности углеродной частицы (наружной поверхности или внутренней) с окислителем  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  протекает с участием промежуточных нестабильных образований, которые в течение некоторого времени находятся в адсорбированном состоянии на наружной поверхности углеродного массива или внутри пор. При этом адсорбционные процессы протекают по механизму хемосорбции, при которой атомы, образующие поверхность твердого материала, стремятся образовать химические связи с веществом, соприкасающейся с ним фазы.

Взаимодействие поверхности углеродных частиц с окислителем может зависеть от типа углеродных материалов (например, графит, углеродные нанотрубки, графен и т. д.), их структуры, а также от типа окислителя (например, воздух, кислород, пероксиды и т. д.).

Процессы взаимодействия углеродных частиц с окислителем могут включать: адсорбцию окислителя, химическое взаимодействие, образование функциональных групп, физические изменения, электрохимические реакции.

Углеродные материалы, такие как углеродные нанотрубки или графен, могут проявлять электрохимическую активность при взаимодействии с окислителем, например, в процессе работы электродов в батареях или суперконденсаторах.

Важно отметить, что конкретные детали взаимодействия могут зависеть от условий окружающей среды, температуры, давления и других факторов химическую адсорбцию. Отметим, что физическая адсорбция: этот механизм включает в себя слабые силы Ван-дер-Ваальса между молекулами газа (кислорода) и атомами углерода. В этом случае кислород просто физически прилипает к поверхности углеродного материала без образования химических связей. Такая адсорбция обычно обратима и зависит от температуры и давления. При химической адсорбции кислород образует химические связи с атомами углерода. Например, кислород может адсорбироваться в виде оксидов углерода ( $CO$ ,  $CO_2$ ) или других химических компонентов. Этот процесс может быть более прочным и специфичным, чем физическая адсорбция.

Сорбционные свойства углеродных материалов могут быть регулируемы, что делает их полезными в различных приложениях, таких как фильтрация газов, катализ.

Сорбционный механизм взаимодействия кислорода с углеродом может быть представлен при помощи следующей упрощенной схемы:



Скорость протекания сорбционного процесса зависит от множества факторов и может быть определена для конкретной системы с использованием уравнений, описывающих процессы сорбции. Сорбция – это процесс взаимодействия между поверхностью сорбента (вещества, способного удерживать другие вещества) и сорбатом (веществом, подлежащим удержанию).

Скорость сорбции может зависеть от следующих факторов: температура (обычно увеличение температуры ускоряет сорбцию); концентрация сорбата; поверхность сорбента; физико-химические свойства сорбата и сорбента, давление (в некоторых случаях изменение давления может влиять на скорость сорбции).

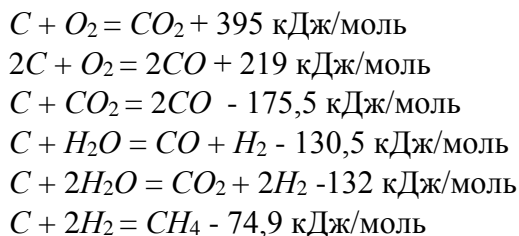
Механизм выгорания углеродных частиц достаточно сложен. Выгорание углеродных частиц происходит в условиях достаточного количества кислорода и высокой температуры. Этот процесс может быть представлен следующим образом:

*Инициирование → Образование тепла → Взаимодействие с кислородом →  
→ Самоподдерживающийся процесс → Выделяющиеся продукты:*

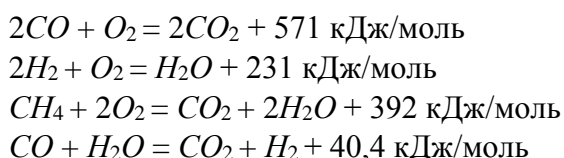
Важно контролировать выгорание, чтобы избежать образования вредных продуктов, таких как угарный газ ( $CO$ ) и оксиды азота ( $NO_x$ ).

В настоящее время принята следующая схема для его описания, учитывающая возможность протекания следующих химических реакций [1, 5]:

- на наружной поверхности и внутри пор:



- в условиях встречной диффузии продуктов неполного сгорания от поверхности углеродной частицы в поток окислителя, диффундирующего им навстречу из окружающего объема:



Большинство исследователей полагают, что для реакций углерода с  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  в широком диапазоне температур можно принимать первый порядок, то есть с точки зрения кинетики процесса скорость этих реакций описывается уравнением следующего вида

$$W = k \cdot C_{по}, \quad (3)$$

где:  $k$  – константа скорости поверхностной реакции;

$C_{по}$  – концентрация реагирующего компонента у поверхности частицы.

Обычно скорость реакции пропорциональна концентрации реагентов. Повышение концентрации реагентов обычно увеличивает скорость реакции, поскольку увеличивается число столкновений молекул. Увеличение температуры увеличивает скорость реакции. Это связано с тем, что при повышении температуры увеличивается энергия частиц, и вероятность успешных столкновений увеличивается. Также наличие катализаторов может ускорить реакцию, предоставляя альтернативные пути реакции с более низкой активационной энергией. В некоторых случаях, особенно в газовых реакциях, поверхность контакта между фазами может влиять на скорость реакции.

Скорость гомогенных реакций может быть описана математическим уравнением скорости реакции, которое связывает изменение концентрации реагентов с течением времени. Обычно это уравнение имеет вид, основанный на законе действующих масс или на уравнении Аррениуса.

С учетом первого порядка изучаемых поверхностных реакций моментальная скорость расходования компонентов ( $\text{кмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) по ним определяется как [1, 4]:

$$dG_i = C_i \cdot k_{oi} \cdot \exp\left(-\frac{E_i}{R \cdot T}\right) \cdot d\tau, \quad (4)$$

где:  $k_{oi}$  – предэкспоненциальный множитель в зависимости Аррениуса,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$C$  – концентрация газообразного компонента, определяющего скорость реакции,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$ ;

$E$  – энергия активации изучаемой реакции,  $\text{кДж}/\text{моль}$ ;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $\text{кДж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ;

$T$  – температура протекания процесса,  $\text{К}$ ;

$i$  – индекс, указывающий на конкретную реакцию.

Для объемных реакций используем аналогичное выражение, с той разницей, что скорость расходования вещества определяется как  $\text{кмоль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ , а константы скорости реакций имеют единицы измерения  $\text{с}^{-1}$ .

Для обработки экспериментальных данных и расчетов скорости изучаемых реакций обычно используется концепция полюса, в котором сходятся линии зависимости констант скорости реакций от температуры. При этом устанавливается связь между константой скорости при произвольной температуре и энергией активации или предэкспоненциальным множителем в уравнении Аррениуса и энергией активации.

Полюс представляет собой точку, вокруг которой вращаются атомы в молекуле в процессе химической реакции. Изучение распределения зарядов в молекуле позволяет определить, где находится полюс. Когда реакция протекает, электроны могут перемещаться вдоль молекулы, создавая временные зарядовые разделы. Эти разделы заряда обуславливают образование полюса. Понимание полюса молекулы помогает в объяснении механизма реакции и предсказании ее скорости.

Другой важный аспект связан с моментом диполя, который зависит от величины разделения зарядов и расстояния между ними. Момент диполя также влияет на эффективность взаимодействия молекул в реакции.

Однако стоит отметить, что концепция полюса применяется в основном для объяснения свойств молекул в рамках теории полярности, и она не всегда может быть применима к описанию всех видов химических реакций

В работах различных исследователей приводятся несколько отличающиеся координаты полюса, что приводит к разным расчетным выражениям. Одним из распространенных выражений для установления связи между  $k_0$  и  $E$  является следующее

$$\lg k_0 = 0,2 \cdot 10^{-4} E + 2. \quad (5)$$

**Выводы.** Рассмотренные в работе физические основы кинетики сжигания твердых топлив могут быть использованы, для разработки математической теории горения. Отмеченные преимущества перед другими видами топлив – длительность горения, экономичность, надежность в экстремальных условиях, возобновляемость, определяют область их использования. Отмечено, что горение твердого топлива, такого как уголь, древесина или торф, может вызывать ряд экологических проблем, таких как выделение парниковых газов  $CO_2$ . Поэтому важно поддерживать исследования и внедрение новых технологий, которые позволят сократить негативное воздействие угольного сжигания на окружающую среду и обеспечить более устойчивый и эффективный энергетический процесс.

Детально рассмотрен процесс горения углерода как наиболее распространенного твердого топлива. Подчеркнуто, что на кинетику горения большое влияние оказывает структура углеродного материала. Представлен механизм выгорания углеродных частиц, формула для расчета скорости реакции горения.

### Список литературы

1. Аbruков, В.С. Расчет процессов горения / В.С. Аbruков, Н.А. Тарасов, М.Е. Волков. – Чебоксары, ЧувГУ, 2005. – 77 с.
2. Горение твердого топлива: сборник тезисов и статей Всероссийской молодежной конференции / под ред. Г.В. Кузнецова, Е.Е. Бульбы, А.В. Захаревича, В.И. Максимова, Т.А. Нагорновой. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 310 с.  
<https://portal.tpu.ru/science/konf/gtt.pdf>.
3. Коваленко, А.А. Термодинамика для инженеров строителей/ А.А. Коваленко, Н.Д. Андрийчук, Я.А. Гусенцова. – Луганск: Издательство ЛГУ им. В. Даля, 2020. – 351 с.
4. Кузнецов, Г.В. Высокотемпературный теплоперенос в слое кокса теплозащитных материалов / Г.В. Кузнецов, В.П. Рудзинский. – Теплофизика высоких температур, 2000 г. Т. 38. – № 4. С. 654 – 660.
5. Теоретические и прикладные аспекты диффузии / Ф.В. Недопекин, А.А. Коваленко, А.Б. Бирюков, П.А. Гнатиёв и [др.]. – Донецк: ДонНУ, 2017. – 327 с.
6. Combustion Engineering By Kenneth Bryden, Kenneth W. Ragland, Song-Chang Kong/ Edition3rd Edition/ First Published2022/ Book Published27, May 2022/ Pub. Location Boca Raton DOI: <https://doi.org/10.1201/b22232/>
7. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Kuznetsov G.V., Rudzinskii V.P. Mathematical simulation of thermophysical and thermo chemical processes during combustion of intumescent fire-protective coatings// Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2001. Т. 37. № 2. С. 178 – 186.

УДК 697.9

**Новиков Антон Эдуардович,**  
Институт гражданской защиты  
**ФГБОУ ВО ЛГУ им. В.ДАЛЯ;**  
Научный руководитель  
**д.т.н., профессор Гусенцова Я.А.**

## **ВОЗДУХООБМЕН В ПОМЕЩЕНИЯХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

*Приведен анализ воздухообмена в многоэтажных зданиях. Установлено, что частыми причинами нарушения комфортности проживания жителей, являются такие параметры, как шум, запах воздуха (удушьё), недостаток кислорода, повышенная влажность, нарушение температурного режима и ряд других.*

*Одной из задач исследований являлась разработка методика расчета воздухообмена в домах этажностью 11 и выше. Разработанная усовершенствованная методика расчета воздухообмена в многоэтажных жилых домах, позволяет на основании технико-экономических расчетов выбрать оптимальную конструкцию системы вентиляции для конкретного помещения.*

*Ключевые слова: воздухообмен, микроклимат помещений, вентиляция, многоэтажное здание, методика расчета*

*An analysis of air exchange in multi-storey buildings is given. It has been established that frequent causes of disruption to the comfort of living of residents are such parameters as noise, air smell (suffocation), lack of oxygen, high humidity, temperature violations and a number of others.*

*One of the research objectives was to develop a methodology for calculating air exchange in buildings with 11 storeys and above. The developed improved method for calculating air exchange in multi-storey residential buildings allows, based on technical and economic calculations, to select the optimal design of the ventilation system for a specific room.*

*Key words: air exchange, indoor microclimate, ventilation, multi-story building, calculation method*

### **Введение. Актуальность темы.**

Воздухообмен в многоэтажных зданиях – это процесс обновления воздуха внутри помещений с целью поддержания оптимального качества воздуха для здоровья и комфорта людей, находящихся внутри здания. В многоэтажных зданиях этот процесс организуется с учетом специфических аспектов и проблем, которые могут возникнуть из-за особенностей структуры и конструкции таких зданий.

Важными элементами систем создания микроклимата являются: системы вентиляции (вентиляционные системы с рекуперацией тепла), системы контроля качества воздуха, приточно-вытяжные системы кондиционирования воздуха.

В случае пожара в многоэтажных жилых зданиях воздухообмен играет важную роль в обеспечении безопасности. Эффективная система вентиляции и дымоудаления способствует эвакуации людей, обеспечивает доступ кислорода для пожарных и помогает предотвратить распространение дыма.

Разработка и обслуживание систем вентиляции и дымоудаления в жилых зданиях являются важными аспектами обеспечения безопасности в условиях пожара.

Вентиляция играет ключевую роль в обеспечении нормального воздухообмена в многоэтажных зданиях. Ее основные функции это: обеспечение свежего воздуха, регулирование влажности, удаление загрязнений, предотвращение образования конденсата, экономия энергии.

Общее обеспечение достаточной вентиляции в многоэтажных зданиях важно для поддержания здоровья и комфорта жильцов, а также для обеспечения долговременной устойчивости здания [6 – 8].

Проблема комплексного изучения воздухообмена в выделенных объемах зданий является чрезвычайно важной. Ее **актуальность** определяется существующим неудовлетворительным уровнем санитарно-гигиенических условий и микроклимата помещений, а также нерациональным использованием тепловой энергии системами вентиляции и отопления.

Современные методики оценивания перемещения воздушных потоков в помещениях основываются на целом ряде упрощений и предположений, которые в недостаточной мере учитывают реальность процесса. Прежде всего, это касается многоэтажных домов, в которых есть дополнительные возможности перетекания воздушных потоков из нижних этажей на верхние [1, 3, 4].

В результате этого количество воздуха, перетекающее в помещения верхних этажей, может значительно отличаться от расчетного. Кроме этого, при соответствующих погодных условиях и других факторах, в каналах систем гравитационной вентиляции здания возможно возникновение обратной тяги. Это осложняет контроль количества воздуха, который инфильтрируется через неплотности наружных и внутренних ограждений помещений, который в отдельных случаях может существенно влиять на воздухообмен помещений [1, 4]. Использование плотных окон повлекло за собой ощутимое ухудшение качества внутреннего воздуха, а, следовательно, и условий проживания жителей. Все это привело к тому, что практически невозможно спрогнозировать уровень комфортности микроклимата в отдельных помещениях квартир и других помещений в зависимости от климатических условий и технико-эксплуатационных показателей здания.

**Изложение основного материала.** На протяжении нескольких лет были проведены анкетные исследования качества микроклимата помещений жилых домов, в том числе с уплотненными окнами. Установлено, что частыми причинами негативных ощущений микроклимата помещений являются комфортность проживания (примерно 70%), шум и запах воздуха (удушье) - примерно 60% (рис.1). Обобщенный процент недовольных микроклиматом помещений составляет более 50% респондентов [5].

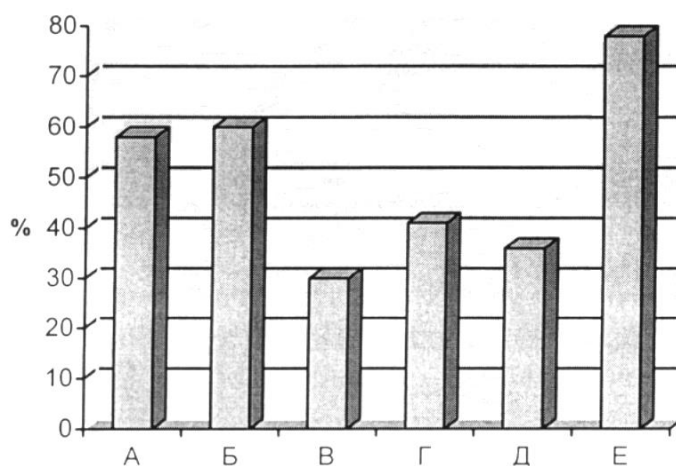


Рисунок 1 - Основные причины негативных ощущений жителей  
а – шум; б – запах; в - недостаток кислорода; г - влажность; д - температура

В большинстве жилых домов предусмотрена естественная вентиляция помещений с использованием каналов, расположенных в стенах помещений, для оттока загрязненного внутреннего воздуха из отдельных помещений, а также с притоком наружного воздуха через форточки, откидные фрамуги и неплотности окон. Этот тип вентиляции зависит от атмосферных условий, температур внутреннего и наружного воздуха, а также скорости и направления ветра. Естественная вентиляция работает при повышенных температурах наружного воздуха очень нестабильно и непредсказуемо, возникает возможность обратного термического напора (рис. 2).

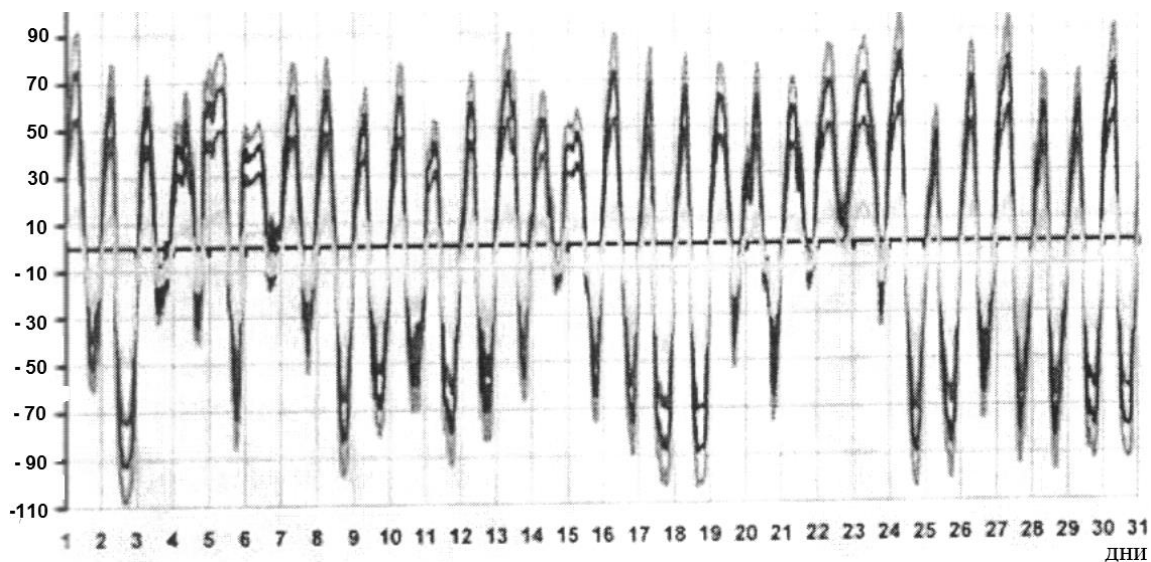


Рисунок 2 - Изменения воздухопроизводительности естественной вентиляции жилого помещения квартиры 1-го этажа в 5-этажном жилом доме в июле месяце

Энергосберегающее вентилирование помещений – это система, которая использует различные технологии и методы для оптимизации потребления энергии в процессе вентиляции, обеспечивая при этом эффективное обновление воздуха в помещении.

Эффективное энергосбережение в вентиляции требует использование комплексного подхода, включая как технологические решения, так и обучение пользователей. Реализация подобных систем может помочь снизить энергопотребление.

Энергосберегающее вентилирование помещений, связанное с преимуществами систем естественной (гравитационной) вентиляции, а именно их низкими инвестиционными и эксплуатационными расходами и бесшумной работой, эффективностью и надежностью механической вентиляции можно обеспечить благодаря применению специальной трубопроводной (канальной) вентиляционной насадки низкого типа VBP (рис. 3) [4, 5].

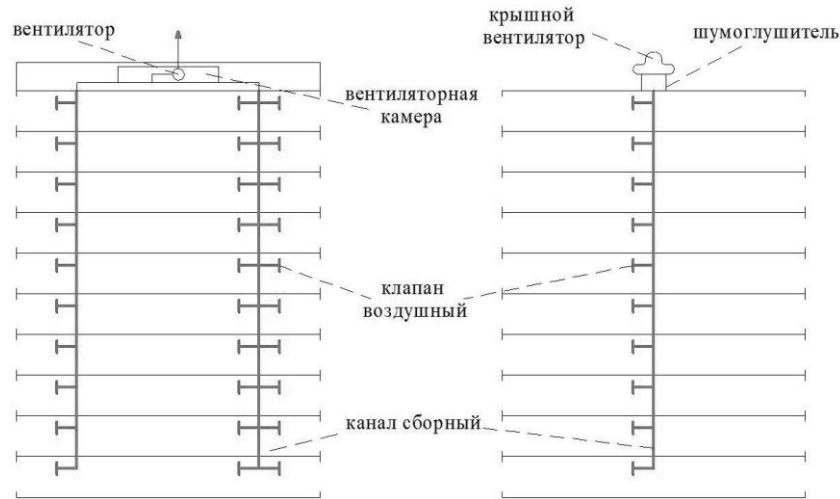


Рисунок 3 - Схемы систем механической вытяжной вентиляции многоэтажных жилых домов повышенной этажности

Одной из задач исследований являлась разработка методики расчета воздухообмена в домах этажностью 11 и выше. Разработка методики расчета воздухообмена в многоэтажных домах требует учета различных факторов, таких как количество жильцов, площадь помещений, тип и состояние здания, климатические условия и другие параметры [2].

Для этого необходима разработка математической модели вентиляционного процесса.

Она состоит из следующих уравнений:

Уравнения балансов воздушных потоков и объемных расходов

$$\sum_I \sum_j [S_{ij}(AP) (p_{ij,ex} - p_{ij,in})^\alpha + S_{ij}(D) (p_{SC} - p_{ij,in})^\alpha_{ij} - S_{ij}(SC) (p_{ij,in} - p_w)^\alpha_{ij}] = 0$$

$$S_{IDB} (p_{l,ex} - p_{SC})^\alpha_{DB} + \sum_{ij} [S_{ij}(AP,SC) (p_{ij,ex} - p_{SC})^\alpha_w - S_{ij}(D) (p_{SC} - p_{ij,ex})^\alpha_D] = 0 \quad (1)$$

Уравнение баланса давлений

$$\rho_e(\tau) \cdot \sum l \cdot [\rho_e(\tau) - \rho_i(\tau)]^\alpha = \rho_i(\tau) \cdot \{r^{-1} \cdot [\rho_i(\tau) - \rho_d(\tau)]\}^{0,5} \quad (2)$$

Теплопроизводительность системы отопления

$$Q_{c.o.} = Q_{mp} + Q_{вент} \quad (3)$$

$$Q_{mp} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot A_i (t_{в.ср.} - t_n) \cdot n, \beta, \quad Q_{вент.} = 0,278 \cdot Q_{Геент.} \cdot c_p (t_{в.ср.} - t_n) \quad (4)$$

Теплопотери через оконные проемы:

$$Q_0 = [K_0 A_0 + S \sum l \cdot c_p \rho (|\Delta p|)^\alpha \operatorname{sgn}(\Delta p)] \Delta T \quad (5)$$

Теплопотери через оконные проемы играют значительную роль в энергопотреблении здания. Они могут возникать из-за теплопроводности стекла, притока холодного воздуха, притока солнечного излучения и ряда других факторов. Для уменьшения теплопотерь через оконные проемы предпринимают следующие меры: использование энергосберегающих окон, установка утеплителя, использование солнцезащитных пленок или стекол, регулярное техническое обслуживание и др. Принятие этих мер позволяет улучшить энергетическую эффективность здания и снизить расходы на отопление или кондиционирование.



Упрощенная математическая модель разработана на основании использования сходства методов расчета тепловых и воздушных балансов. При этом приняты следующие исходные условия:

- рассматриваемая квартира (помещение) может быть расположена на произвольном этаже и в произвольном выделенном объеме дома, иметь различные типы ограждений и вытяжных шахт;

- основой реализации модели является упрощенный метод с условием, что все ограждения и внутренний воздух рассматриваются как точки с сосредоточенными параметрами;

- принято, что распределение температур во всех внутренних ограждениях одинаково, что делает возможным рассмотрение их как единого ограждения с суммарной поверхностью.

Адекватность модели подтверждена критерием Фишера, что позволило на ее основе разработать методические рекомендации по усовершенствованию теплообмена в современных многоэтажных зданиях.

Они позволяют на основании технико-экономических расчетов на ЭВМ выбрать тип вентиляции, решить следующие задачи:

1. Применять ли механическую вентиляцию, которая обеспечит соответствующий воздухообмен и качество воздуха. При этом возрастут инвестиционные расходы, однако возможность рекуперации тепла вытяжного воздуха, контролируемый и регулируемый по эксплуатационным потребностям воздухообмен (в том числе и сниженный при отсутствии людей в помещениях и в ночное время) и значительная плотность наружных ограждений обусловят такой эффект, что дом станет энергосберегающим.

2. Применять ли распространенную в отечественной практике естественную вентиляцию. Для выполнения систем такой вентиляции инвестиционные расходы сравнительно низкие, однако в эксплуатации дома, в том числе и с уплотненными наружными ограждениями, она не всегда может обеспечить контролируемые воздухообмены помещений и качество внутреннего воздуха в них, рекуперацию тепла вытяжного воздуха, поэтому потребление энергии системы является значительным.

Проведенные исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1. Установлено, что при высоких температурах наружного воздуха естественная вентиляция работает крайне нестабильно и непредсказуемо, возникает обратный термический напор и не обеспечивается требуемый воздухообмен. Видимыми последствиями плохого вентилирования помещения является разрушение строительных конструкций, отсутствие притока наружного воздуха по каналам вытяжной вентиляции, что может привести к причинению вреда здоровью жителей.

2. Разработанная усовершенствованная методика расчета воздухообмена в многоэтажных домах, позволяет на основании технико-экономических расчетов выбрать оптимальную конструкцию системы вентиляции для конкретного помещения.

### **Список литературы**

1. Грудзинский, М.М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М. М. Грудзинский, В. И. Ливчак, М. Я. Поз. – М.: Стройиздат, 1982. – 255 с.
2. Гусенцова, Я.А. Оптимизация технико-экономических характеристик вентиляционных систем/ Я.А. Гусенцова, К.Н. Андрийчук, Н.Д. Андрийчук – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2005. – 52 с.
3. Крум, Д. Кондиционирование воздуха и вентиляция зданий / Д. Крум, Б. Робертс; пер. с англ. / под. ред. У.У. Карписа. – М. : Стройиздат, 1980. – 399 с

4. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха / пер. с англ. Н.В. Никольского; под ред. И. Г. Старовойта. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1983. – 468 с.
5. Пиотровски Е. Новая методика экспериментального исследования процесса естественного воздухообмена в помещениях / Е. Пиотровски // Коммун. хоз. городов. – Харьков, ХНАКХ, 2003. – № 48. – С. 152 – 159.
6. СП 60.13330.2012. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: 2012. – 84 с.
7. ASCE Standard, ASCE 7-2005: Australian Standard: Minimum Design Loads on Structures (Known as SAA Loading Code) Part 2: Wind Loads, Standards Australia, – Sydney, 2005. – 52 p.
8. ASHRAE. Fundamentals Handbook. – Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers, 2005. – 121 p.

УДК 621.181

Монах Светлана Игоревна,

кандидат технических наук,

доцент кафедры ТТГВ;

Сойников Николай Николаевич,

магистрант гр.ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ;

Епищева Светлана Сергеевна,

магистрант гр.ЗТГВм-53а кафедры ТТГВ,

ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ К ТЕПЛОВОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

*Статья рассматривает решения задачи повышения эффективности теплового оборудования, на основе термодинамического анализа его работы, путем снижения затрат энергетических ресурсов. В работе предлагается для термодинамического анализа теплового оборудования использовать эксергетический метод, дополненный методом пинч-анализа. В работе приведены понятия энергии и эксергии, их различия, изложены принципы составления энергетического и эксергетического балансов теплового оборудования. Эксергетический анализ тепловых систем позволяет оценить количественные и качественные характеристики эффективности. А пинч-метод позволяет решать конкретные задачи по оптимизации параметров теплоэнергетических систем и их частей. В основе пинч-анализа лежит расчет энтальпии, которая не учитывает потенциал теплоты. В работе предлагается проводить пинч-анализ тепловой энергии потоков теплоносителей путем расчета их эксергии, что позволяет качественно оценить потенциал тепловых потоков и показывает зависимость энергетического потенциала тепловых потоков от температуры окружающей среды. В статье приводится эксергетический анализ экономайзера и воздухоподогревателя котла ПП-2650-255 ГМ с помощью пинч-метода. По результатам анализа можно сделать следующее заключение: для повышения энергоэффективности котла можно увеличить площади поверхностей нагрева экономайзера и воздухоподогревателя. Таким образом, эксергетический метод анализа теплового оборудования, дополненный пинч-анализом, является эффективным методом для повышения энергоэффективности теплового оборудования.*

*Ключевые слова: термодинамический анализ, энергия, эксергия, эксергетический метод, эксергетический баланс, тепловое оборудование, пинч-метод, потенциал тепловых потоков, экономайзер, воздухоподогреватель, энергоэффективность.*

Классический аппарат термодинамики часто оказывается недостаточным для решения задач повышения эффективности теплотехнического оборудования, так как он использует метод определения термического КПД и, так называемый энтальпийный метод. Энтальпийный метод позволяет только проанализировать энергетические характеристики и энергетические возможности термодинамической системы, но не позволяет определить качественную сторону энергии, то есть проанализировать эффективность превращений одних форм энергии в другие [Бр].

Необходимо не только дальнейшее развитие термодинамического метода анализа теплового оборудования, но и сопряжение его с элементами системного подхода и экономики. Под влиянием этих требований был разработан эксергетический метод.

Его основополагающая идея заключается во введении наряду с фундаментальным понятием энергии, дополнительного понятия эксергия, которое позволяет учесть тот факт, что энергия в зависимости от внешних условий может иметь разную ценность для практического использования (например, одно и то же количество теплоты при различном температурном потенциале источников).

Расчеты балансов и различных характеристик технических систем с учетом эксергии дают возможность более просто и наглядно решать множество научных, технических и технико-экономических задач. Они помогают исключать ошибки, связанные с игнорированием качественной стороны энергетических превращений.

Эксергетический баланс теплового оборудования определяет происходящие в нем превращения энергии и вещества и позволяет получать информацию о распределении и характеристиках потерь энергии в отдельных процессах тепло и массообмена, в отдельных частях и узлах и в оборудовании в целом. Важнейшим преимуществом эксергетического анализа технической системы в целом (или теплового оборудования) является возможность определения доли каждой части этой системы, характеристика связей между ними, взаимодействие системы с окружением и т. д.

Эксергетический анализ может служить основой для дальнейшей работы по усовершенствованию технической системы (или оборудования) и сопоставлению ее с другими, предназначенными для тех же или аналогичных целей.

Под технической системой понимают теоретическую модель реального технического объекта, отражающую с той или иной степенью идеализации совокупность множества входящих в него элементов и связей между ними, и работа такой системы происходит в условиях взаимодействия с независимым от неё окружением.

Эксергетический метод, как правило используют для таких технических систем, в которых существенное место занимают энергетические превращения, изучаемые с применением второго закона термодинамики. Первый закон термодинамики играет определяющую роль всегда. Т.е. в энергетических превращениях большое значение должны иметь такие, которые характеризуются отличной от нуля энтропией ( $ds \geq \frac{dq}{T}$ ). К таким техническим системам и относятся системы теплоснабжения и отдельное тепловое оборудование систем теплоснабжения, в которых имеют место превращения энергии различных видов.

Несмотря на общность этих энергий, отражаемую первым законом термодинамики, существуют и ограничения превращаемости одного вида энергии в другой, определяемые вторым законом термодинамики.

Поскольку эти ограничения имеют важнейшее значение для практики, все виды энергии делятся на 2 группы по признаку их превращаемости.

I группа энергий: виды энергий, которые полностью, без ограничений превращаются в любые другие виды энергии. Виды энергии I группы имеют энтропию, равную нулю:  $S = 0$  ( $ds = 0$ ). Энергию таких видов наз. «организованной» или «безэнтропийной».

II группа энергий: виды энергий, которые не могут быть полностью преобразованы в любой др. вид энергии. Виды энергии II группы имеют энтропию отличную от нуля:  $S > 0$  ( $ds > 0$ ). Энергию таких видов наз. «неорганизованной» или «энтропийной».

Согласно второму закону термодинамики, в системе могут протекать только такие процессы преобразования энергии, в которых суммарная энтропия участвующих в нем тел или возрастает в реальных процессах или в обратимых процессах остается постоянной ( $\Delta S \geq 0$ ).

Следовательно, все виды «безэнтропийной» энергии (I группа) способны к любым превращениям, т.к. при любом превращении энергии энтропия будет либо возрастет либо оставаться постоянной. Для видов энергии II группы («энтропийной») однозначно невозможно превращение полностью в какой-либо вид «безэнтропийной» энергии.

Любой вид «безэнтропийной» энергии, обладающий неограниченной превращаемостью, с технической точки зрения ценнее «качественнее», чем любой вид «энтропийной» энергии.

Это утверждение справедливо как для видов энергии, носителями которой являются транспортируемые тела (например, внутренняя энергия вещества – горячей воды), так и для видов энергии, находящихся в процессе перехода от одних тел к другим (тепло и работа любого вида).

Различают следующие виды энергий: механическая, электрическая, молекулярная, химическая, ядерная энергия, энергия в переходе – теплота, энергия в переходе – работа.

Возможности взаимного преобразования этих видов энергии отражена в таблице 1.

Все виды энергии I группы при взаимных преобразованиях полностью превращаются один в другой независимо от параметров окружающей среды. В случае преобразования энергий II группы – чем меньше разность интенсивных параметров среды и рабочего тела технической системы – тем меньшая часть энергии может быть преобразована. При равенстве параметров рабочего тела системы и окружающей среды – преобразование энергии невозможно.

Таким образом, эксергия – является мерой, позволяющей оценить энергию (ее превращаемость) с учетом ее качественных характеристик.

Система, для анализа которой используется эксергетический метод, может быть простой (например, рабочее тело в замкнутом объеме) и сложной (система теплоснабжения, котельная установка).

Анализируемая система может быть закрытой (без обмена веществ с внешней средой, например система отопления) и открытой (например, водогрейный или паровой котел).

Система может быть стационарной (с параметрами, не изменяющимися во времени) и нестационарной.

Эксергия системы определяется не только действием системы, но и одновременным действием окружающей среды на систему. При полном равновесии системы и среды – эксергия равна нулю.

Таблица 1 – Возможности взаимного преобразования видов энергии

Вид энергии <sup>1</sup>	Механическая	Электрическая	Молекулярная	Химическая	Энергия в переходе - Теплота	Энергия в переходе - Работа
Механическая	+	+	+	+	+	+
Электрическая	+	+	+	+	+	+
Молекулярная	—	—	+	—	+	—
Химическая	—	—	+	—	+	—
Ядерная энергия	+	+	+	+	+	+
Энергия в переходе - Теплота	—	—	+	—	—	—
Энергия в переходе - Работа	+	+	+	+	+	+

Согласно первому и второму законам термодинамики в каждом данном состоянии эксергия системы, так же как и ее энергия, имеет определенное фиксированное значение, поскольку обратимый процесс выравнивания ее интенсивных параметров с параметрами окружающей среды однозначно характеризуется работой.

В результате идеального (обратимого) процесса (по определению эксергии) получается работа, равная эксергии. В реальном процессе работа меньше убыли эксергии (в пределе работа может быть равна нулю), т.к. часть ее не превращается в работу, а исчезает.

Существенное отличие эксергии от энергии состоит в том, что в любом процессе энергия подчиняется закону сохранения, а эксергия подчиняется закону сохранения только в обратимых процессах, в реальных процессах она может частично или полностью исчезать, теряться в результате диссипации энергии в необратимых процессах.

<sup>1</sup> + - полное преобразование видов энергии I группы в энергию II группы; — - неполное преобразование.

При прочих равных условиях чем меньше эта потеря эксергии, тем процесс более термодинамически совершенен, т.е. тем больше его термодинамическая эффективность.

Все виды «безэнтропийной» энергии - полностью превращаемы и для механической (кинетической и потенциальной), электрической и ядерной энергии эксергия просто равна энергии.

Все виды эксергии «энтропийной» энергии делятся по признаку наличия или отсутствия тела – носителя эксергии: эксергии с наличием тела – эксергия вещества в объеме  $E_v$  и в потоке  $E$ ; эксергии с отсутствием тела – эксергия излучения в объеме, эксергия теплового потока  $E_q$  и потока излучения  $E_{и}$ .

Эксергия вещества в потоке ( $E$ ) классифицируется в зависимости от вида энергетических взаимодействий с окружающей средой: термическое взаимодействие (обобщенный параметр  $T$  – температура); деформационное (обобщенный параметр  $P$  - давление); реакционное и концентрационное (обобщенный параметр  $\mu$  – химический потенциал).

Эксергетический анализ эффективности теплового оборудования осуществляют на основе уравнения эксергетического баланса, которое универсально и пригодно для любых термодинамических систем, независимо от видов энергии, участвующих в процессе:

$$\sum E' \geq (\sum E'' + \Delta E) \quad (1)$$

или

$$\sum D = \sum E' - (\sum E'' + \Delta E) \quad (1a)$$

Здесь  $\Delta E$  - приращение эксергии системы между начальной и конечной точками процесса, Дж;

$\sum E'$  и  $\sum E''$  - суммарная эксергия в начальной и конечной точке процесса, соответственно, Дж;

$\sum D$  - суммарная потеря эксергии от необратимости процесса, Дж;

Для стационарного во времени процесса  $\Delta E = 0$  и  $\sum D = \sum E' - \sum E''$ .

Соответствующее уравнение энергетического баланса:

$$\sum W' = \sum W'' + \Delta W \quad (2)$$

Здесь  $\Delta W$  - приращение энергии системы между начальной и конечной точками процесса, Дж;

$\sum W'$  и  $\sum W''$  - суммарная энергия в начальной и конечной точке процесса, соответственно, Дж;

Принципиальная разница между уравнениями (1) и (2) состоит в том, что в (2) при любых условиях равенство правой и левой частей соблюдается, а в (1) левая часть в реальных процессах всегда больше правой.

Таким образом, энергетический баланс не может отразить потери от необратимости процессов в рассматриваемой системе, т.к. независимо от степени ее совершенства уравнение (2) будет всегда справедливо.

Эксергетический баланс во всех случаях показывает потери от необратимости в системе. Степень ее термодинамического совершенства (эксергетический КПД) также определяется однозначно отношением:

$$\frac{\sum E''}{\sum E'} = \frac{\sum E' - \sum D}{\sum E'} = \eta_e \quad (3)$$

Термины «потери энергии» и «потери эксергии» имеют принципиально разное содержание. «Потери энергии» - означает не потерю энергии вообще (энергия не исчезает), а потерю ее для данной системы или данной цели, если часть энергии непригодна для нее по своей форме или параметрам. «Потери эксергии» - означает полное исчезновение эксергии, т.е. ее уничтожение, связанное с диссипацией энергии.

В соответствии с методикой эксергетического анализа величины  $\sum E'$  и  $\Delta E$  – включают эксергию тех видов вещества и энергии, которые входят в энергетический баланс рассматриваемой системы (теплового оборудования).

Как правило, это эксергия потока рабочего тела  $E$ , эксергия теплового потока  $E_q$  и работа  $L$  (равная энергии для механической и электрической энергии).

На рис. 1 показана схема характера взаимодействия технической системы с циркулирующей средой. 1, 2, 3 – внешние объекты, служащие источниками энергии, поступающей с материальными потоками всех видов, а также с теплотой и работой.

4, 5, 6 – приемники этих же видов энергии. Каждый поток имеет соответствующую эксергию. Исследуемая часть мысленно выделяется контрольной поверхностью.

Кроме обмена веществом и энергией (в виде теплоты) с внешними объектами исследуемая система может совершать обмен и с окружающей средой. В этом случае обмен не сопровождается переносом эксергии, т.к. эксергия таких потоков будет равна нулю.

Обмен энергией (в виде теплоты) или веществом может проходить как от окружающей среды к системе, так и обратно.

В частности при обмене веществом – это использование вещества окружающей среды, например воздуха для горения топлива и выдача системой этого воздуха с продуктами сгорания (такой поток на рисунке показан стрелкой штрих пунктиром).

Одновременно с ним получается полезный продукт (теплота). А этот поток представляет собой отходы. Чем меньше эксергия этого потока отходов, т.е. чем ближе его параметры к параметрам окружающей среды, тем меньше потери эксергии, тем лучше ее использование и тем эффективнее данное оборудование (например, котел).

В целом уравнение эксергетического баланса системы, приведенной на рисунке 1.:

$$\sum E'_m + \sum E'_q + \sum L' = \sum E''_m + \sum E''_q + \sum L'' + \sum D \quad (4)$$

Величина суммарных потерь эксергии  $\sum D$  не только констатирует наличие потерь от необратимости процессов, но и позволяет точно определить их количественно.

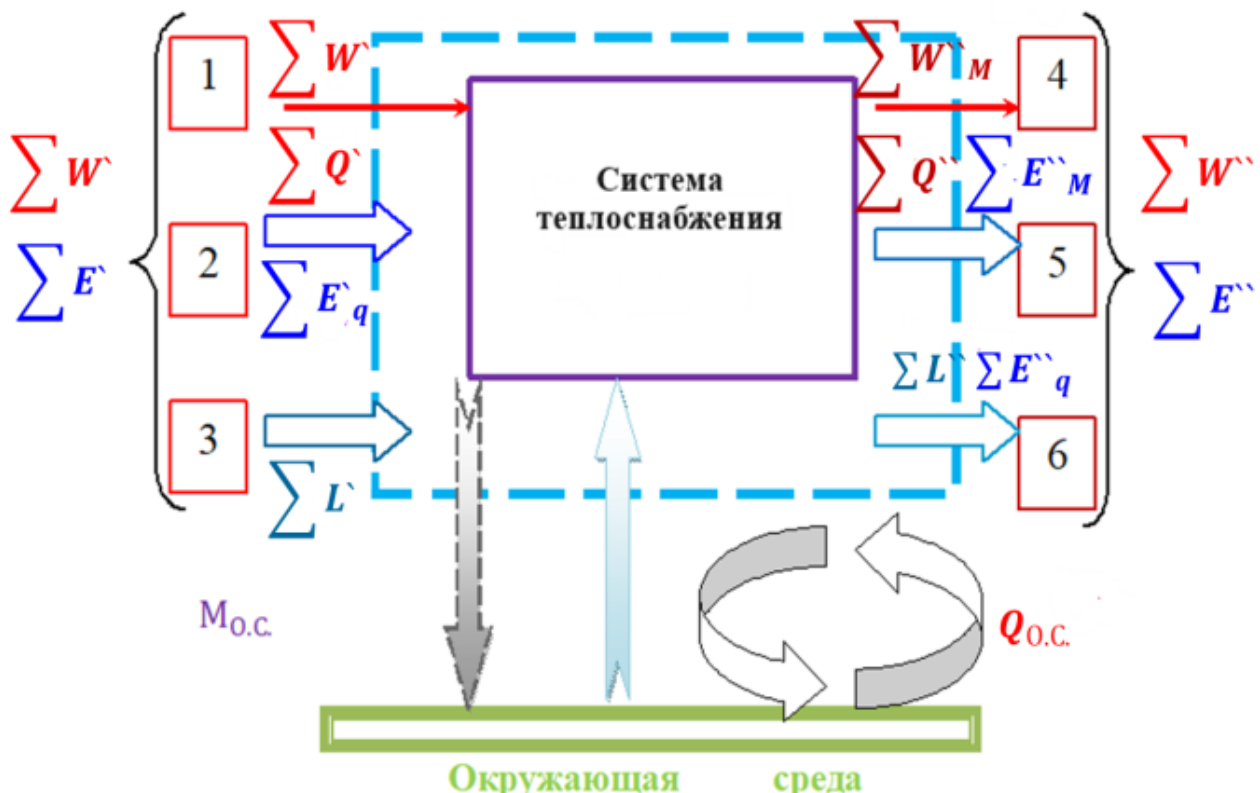


Рисунок 1 - Схема взаимодействия технической системы (системы теплоснабжения) с окружающей средой и находящимися в ней объектами

Современная система теплоснабжения, состоящая из источника теплоты, потребителей и теплопроводов их соединяющих, представляет из себя целый комплекс различного оборудования. Полный эксергетический анализ всей системы целиком – задача весьма трудная из-за большого количества различных видов потоков эксергии.

В настоящее время, на основании исследований целого ряда ученых [2 - 8] можно заключить, что для сложных технических систем целесообразно проводить эксергетический анализ отдельных объектов, входящих в систему, посредством пинч-метода.

Пинч-анализ – методология минимизации энергопотребления процесса посредством термодинамического расчета обоснованных объемов энергопотребления и приближения к ним с помощью оптимизации теплопередачи между процессами [9]. Пинч-метод позволяет достичь минимальных затрат энергоресурсов за счет уменьшения использования энергоносителей [10].

В основе пинч-метода лежит определение энтальпии потоков, которая не учитывает потенциал тепловой энергии. Современными методами термодинамического анализа предлагается проводить пинч-анализ источников тепловой энергии при помощи эксергии, которая может качественно оценить потенциал тепловых потоков и показывает зависимость энергии тепловых потоков от температуры окружающей среды.

В теории Пинч-анализа все тепловые потоки можно разделить на две группы. Первая группа – потоки, которые охлаждаясь нагревают холодный теплоноситель. Обозначим их как «Греющие потоки». Так как энтальпия горячих потоков уменьшается при охлаждении потока, данные потоки будут обозначаться вектором, направленным справа налево в координатах температура–эксергия. Вторая группа – потоки, которые нагреваются в тепловом оборудовании. Их называют «Нагреваемые потоки». В координатах температура–эксергия «Нагреваемые потоки» будут показаны вектором, который направлен слева направо.

Изменение энтальпии потока, с массовым расходом  $M$ , при различных начальных и конечных температурах определится по формуле

$$dH = C_p \cdot M \cdot dT, \quad (5)$$

где  $C_p$  – удельная теплоемкость вещества потока при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

$M$  – массовый расход вещества потока, кг/с;

$T$  – температура, К;  $H$  – теплосодержание потока, Вт.

Для иллюстрации приложения эксергетического метода анализа эффективности теплового оборудования, проведем анализ энергоэффективности части парового котла ПП-2650-255 ГМ (применяемого на крупных ТЭЦ России), а именно его экономайзера и воздухоподогревателя. Схема анализируемого участка приведена на рисунке 2.



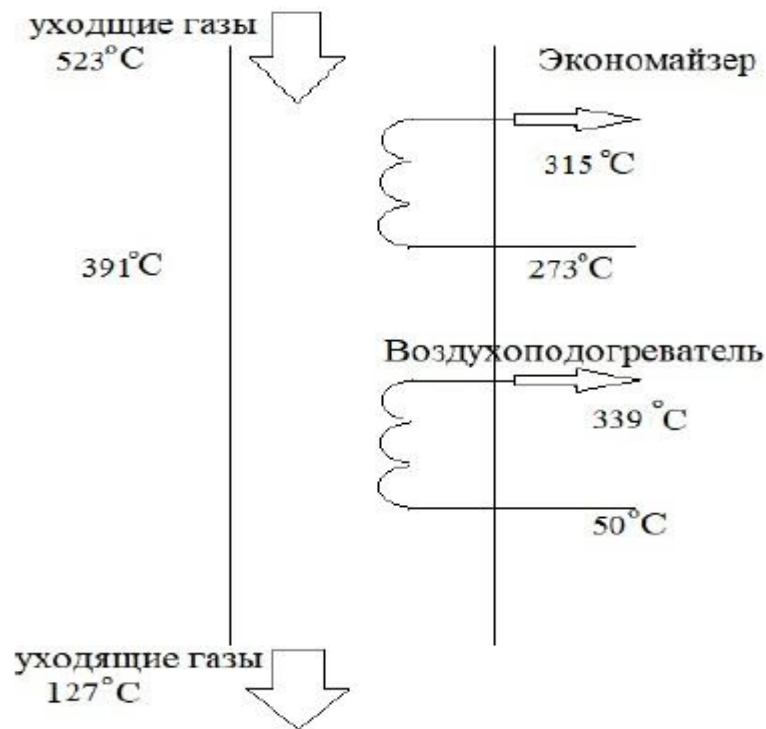


Рисунок 2 – Схема экономайзера и воздухоподогревателя котла ПП-2650-255 ГМ

Уходящие газы, отдающие тепло воде, нагреваемой в экономайзере, обозначим как «Греющий поток 1», уходящие газы, греющие воздух в воздухоподогревателе, – «Греющий поток 2».

Во вторую группу потоков войдут те потоки, которые необходимо нагреть. На рассматриваемом участке котла это вода, нагреваемая в экономайзере – «Нагреваемый поток 1» и воздух, подогреваемый в воздухоподогревателе – «Нагреваемый поток 2». Данные для расчета тепловых потоков взяты из технической характеристики котла. Параметры потоков приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры греющих и нагреваемых потоков

	Начальная температура, °C	Конечная температура, °C	Удельная теплоемкость, кДж/кг К	Массовый расход, кг/с	Эксергия потока, МВт
«Нагреваемый поток 1»	273	315	4,8	486	- 71
«Нагреваемый поток 2»	50	339	1,02	350	- 40
«Греющий поток 1»	523	391	1,16	700	66
«Греющий поток 2»	391	127	1,16	700	102

Эксергия потока теплоты при постоянной температуре определяется по формуле

$$Ex = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right), \quad (6)$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды, в которую происходит сток теплоты, К;

$T$  – температура, при которой происходит передача теплоты  $Q$ , К.

Но температуры и греющих и нагреваемых потоков в экономайзере и воздухоподогревателе изменяются.

Количество передаваемой теплоты и в экономайзере и в воздухоподогревателе может быть определено по классической формуле

$$Q = c \cdot m \cdot (T_1 - T_2), \quad (7)$$

где  $c$  – удельная теплоёмкость потока, Дж/(кг·К);

$m$  – массовый расход потока, кг/с;

$T_1$  – начальная температура потока, К;  $T_2$  – конечная температура потока, К.

Тогда уравнение (6) следует записать в дифференциальной форме

$$d(Ex) = c \cdot m \cdot \tau \cdot dT = c \cdot m \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot dT \quad (8)$$

Проинтегрировав уравнение (8) в интервале температур от  $T_1$  до  $T_2$ , получим зависимость эксергетической функции для количества теплоты, которое необходимо для нагрева исследуемого потока

$$\begin{aligned} Ex &= \int_{T_2}^{T_1} c \cdot m \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot dT = c \cdot m \cdot [T - T_0 \cdot \ln(T)]_{T_2}^{T_1} \\ &= c \cdot m \cdot [T - T_0 \cdot \ln(T_1) - T_0 \cdot \ln(T_2)] \\ &= c \cdot m \cdot [T_1 - T_2 - T_0 \cdot (\ln(T_1) - \ln(T_2))] = \\ &= c \cdot m \cdot \left[T_1 - T_2 - T_0 \cdot \ln \frac{T_1}{T_2}\right]. \end{aligned} \quad (9)$$

По формуле (9), пользуясь данными таблицы 2, рассчитаем эксергию всех четырех потоков. Температуру окружающей среды примем равной 0 °С.

Изобразим данные потоки векторами в координатах «температура - эксергия» (см. рис. 3 и рис. 4).

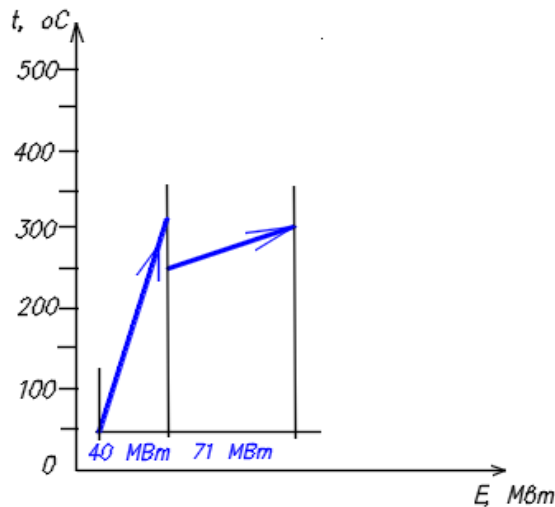


Рисунок 3 - «Нагреваемые потоки» в системе координат «температура–эксергия»

Совместим (преобразуем) графики методом пинч-анализа. Проекция кривых на ось эксергии перекрывают друг друга. Это значит, что энергия, отводимая от «греющих потоков», может быть использована для нагрева «нагреваемых потоков», т.е. может быть осуществлена рекуперация теплоты.

В теории пинч-анализа говорится, что у каждой из составных кривых существует участок, проекция которого на ось эксергии не перекрывается проекцией второй кривой, то есть нагреваемый поток нуждается во внешнем источнике тепла, а нагревающий требует дополнительного охлаждения.

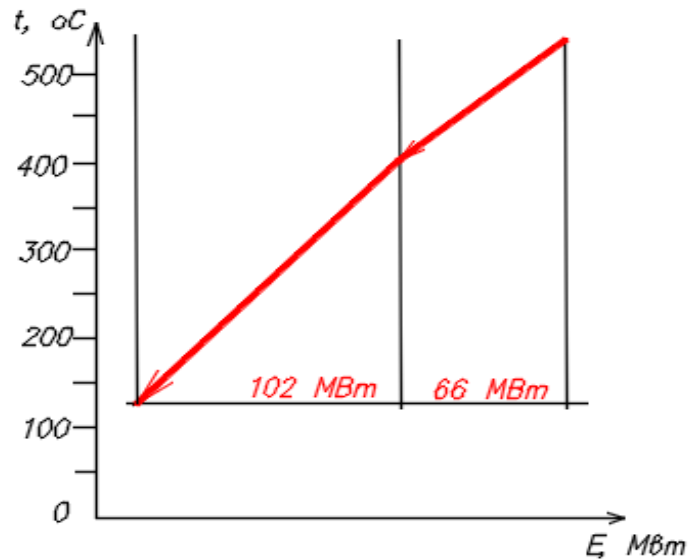


Рисунок 4 - «Греющие потоки» в системе координат «температура–эксергия»

Преобразованные тепловые потоки в системе координат «эксергия – температура» приведены на рис. 5.

Из анализа графика преобразованных тепловых потоков следует, что «греющие потоки» полностью перекрывают «нагреваемые потоки» и существует возможность передачи 100 МВт эксергии между процессами.

По теории пинч-метода следует сближать графики потоков эксергии (по горизонтали) до минимальной температуры, так называемой точки пинча. В данном случае точка пинча:  $t_{\min} = 25$  °С. Это выполняется для определения наибольшей рекуперации энергии.

Эксергетический анализ с помощью пинч-метода показал, что у исследуемого участка котла есть неиспользуемая эксергия, равная 75 МВт (40 МВт в верхней части и 35 МВт в нижней части графика).

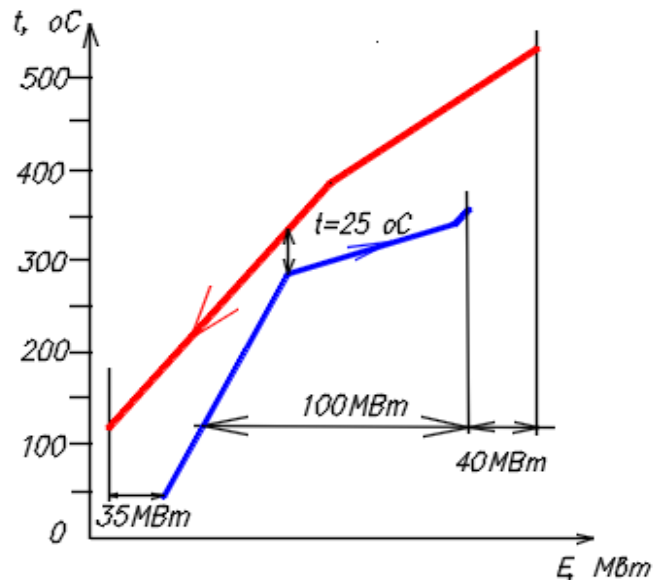


Рисунок 5 - Преобразованные тепловые потоки в системе координат «эксергия – температура»

Для повышения энергоэффективности котла, исходя из расчетов можно увеличить площадь поверхности нагрева экономайзера, так как график показал 40 МВт неиспользуемой эксергии. Аналогично, можно увеличить поверхность нагрева воздухоподогревателя (35 МВт

эксергии), но с гораздо меньшей эффективностью, поскольку уходящие газы, греющие воду в экономайзере, имеют больший потенциал тепла (523°С на входе), чем уходящие газы, греющие воздух в воздухоподогревателе, (391°С на входе, 127 °С – на выходе).

### **Список литературы**

1. Эксергетические расчеты технических систем: справ. Пособие / Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др.: Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР. Ин-т технической теплофизики. – Киев : Наук. думка, 1991.- 360 с.
2. Мартынов А.В. Определение энергетической эффективности аппаратов, установок и систем // Новости теплоснабжения. 2010. №10(122). С. 17–19.
3. Полканов А.С., Лавров С.В. Эксергия и ее основные виды // Студенческая научная конференция за 2016 год. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016. С. 321.
4. Юшкова Е.А., Лебедев В.А. Поток энергии и эксергии // Молодой ученый. 2017. №12 (146). С. 17–19.
5. Лебедев В.А. Эксергетический метод оценки энергоэффективности оборудования систем энергообеспечения предприятий минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.435–443.
6. Богданов А. Б. Экономика энергетики ТЭЦ с применением эксергии и анергии. Доступно по: // URL: <http://exergy.narod.ru/Nigre2015-11.PDF>. Ссылка активна на: 31.03.2019.
7. Rosen M. A., Dincer I. Exergoeconomic analysis of power plants on various fuels.// Applied Thermal Engineering. 2003. V.23. pp.643–658.
8. Медведева Г.А., Лабуткин А.Г., Ибрагимова Л.У., Мухаметзянова А.К. Эксергия – путь энергосбережения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2016. Т.8. С.1-11. Доступно по: <http://naukovedenie.ru/PDF/59TVN416.pdf>.
9. Пинч-анализ. Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Доступно по: URL: <https://gisee.ru/articles/submethods/778/>. Ссылка активна на: 30.01.2019.
10. Marcelo Castier. Pinch analysis revisited: New rules for utility targeting, Applied Thermal Engineerin. 2019. V.27. N. 8–9. pp.1653–1656.

УДК 699.86

**Монах Светлана Игоревна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;

**Москалюк Наталья Александровна,**  
магистрант гр.ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ;

**Тимошенко Татьяна Николаевна,**  
магистрант гр.ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В УТЕПЛИТЕЛЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА**

*Аннотация:* Статья посвящена разработке математической модели температурного поля в слое утеплителя при продольной фильтрации воздуха в нем, обеспечивающей подогрев этого воздуха. Точный расчет вентиляционного потока, нагреваемого в пористом утеплителе воздуха, весьма сложная задача, однако это направление экономии топливно-энергетических ресурсов в современном строительстве является весьма перспективным. Для расчета теплового потока, нагреваемого воздуха при его продольной фильтрации, необходимо получить уравнение температурного поля в слое утеплителя. В данной работе авторами предложена математическая модель температурного поля в утеплителе, учитывающая продольную фильтрацию воздуха. Предложенная система дифференциальных уравнений позволяет качественно и количественно описать процесс продольной фильтрации воздуха в слое утеплителя и может быть решена методом конечных разностей.

*Ключевые слова:* вентилируемый фасад, утеплитель, межоконные простенки, продольная фильтрация воздуха, температурное поле, тепловой поток, система уравнений, метод конечных разностей.

Влияние фильтрации воздуха через ограждающие конструкции на температурное поле в них исследовалось с конца XIX века. Математическая модель одномерного переноса теплоты в конструкции при поперечной фильтрации воздуха была предложена Ф. В. Ушковым [2]. Им был разработан метод расчета распределения температуры по толщине конструкции при поперечной фильтрации воздуха для одномерной стационарной задачи. Учет продольной фильтрации воздуха принципиально не может сводиться к одномерной задаче и поэтому, даже для принятого стационарного режима, представляет определенные трудности.

Известно, что наиболее выгодное, с точки зрения теплофизики, расположение теплоизоляции в конструкции – у наружной поверхности. Вследствие этого в настоящее время получили распространение навесные теплоизоляционные фасады – конструкция именно с таким расположением слоя утеплителя и наличием продольной фильтрации воздуха в нем приведена на рисунке 1.

Чем меньше плотность теплоизоляционного материала и выше его пористость, тем выше его воздухопроницаемость, хотя точной зависимости одного параметра от другого в настоящее время не установлено.

Несмотря на сложность точного расчета вентиляционного потока нагреваемого в строительной конструкции воздуха, это направление экономии топливно-энергетических ресурсов в современном строительстве является весьма перспективным. Поэтому необходим инженерный метод расчета температурного поля с учетом продольной фильтрации воздуха в ограждающей конструкции.

Как уже было отмечено, перенос теплоты в конструкции с воздухом, фильтрующимся в продольном направлении, не может быть сведен к одномерной задаче, поэтому он может

рассчитываться практически только численными методами. Характеристики теплозащиты конструкции могут быть получены путем расчета температурного поля, причем решаемое уравнение должно учитывать перенос теплоты за счет фильтрации воздуха.

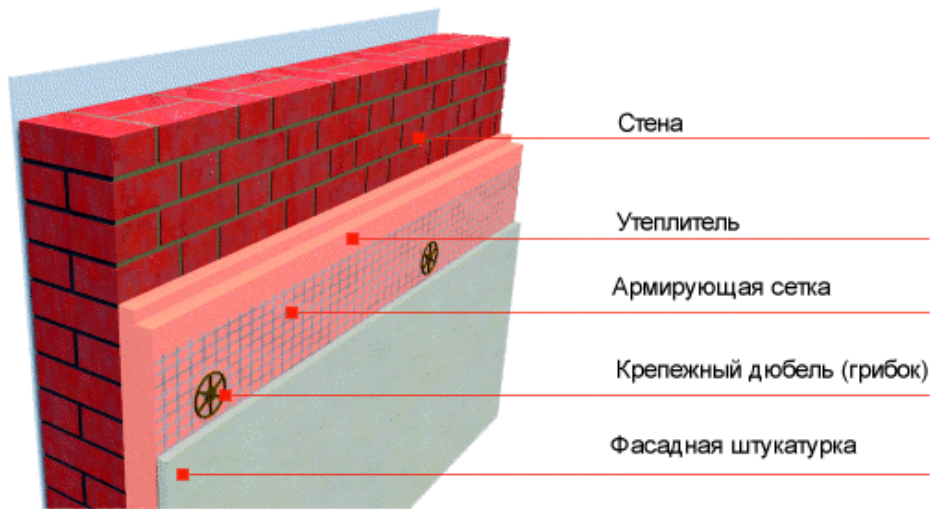


Рисунок 1 - Схема навесного теплоизоляционного фасада

Уравнение теплопроводности, учитывающее перенос теплоты фильтрацией воздуха, в общем случае имеет вид [1]

$$c_M \gamma_0 \frac{\partial t}{\partial z} = \operatorname{div}(\lambda \cdot \overrightarrow{\operatorname{grad}} T - c_B \overrightarrow{G}_c T), \quad (1)$$

где  $T$  – температура, К;

$\lambda$  – расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

$c_B$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С), ( $c_B=1006$  Дж/(кг·°С));

$c_M$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·°С);

$G_c$  – плотность потока воздуха через конструкцию, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$\gamma_0$  – плотность материала в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;

$z$  – время, с.

Уравнение (1) является уравнением теплопроводности с поправкой, стоящей в скобках в правой части, представляющей собой плотность потока теплоты, переносимой перемещающимся воздухом. Выражение для этого потока легко может быть получено из общих соображений. Переносимый воздухом поток теплоты равен теплоемкости воздуха, умноженной на его температуру и на плотность потока воздуха.

В рассматриваемой постановке задачи плотность потока воздуха через конструкцию принимается величиной постоянной по координатам и по времени (стационарной). В этом случае через одну из границ участка конструкции поток воздуха входит в теплоизоляционный слой, а через другую – выходит. Воздух перемещается вдоль фасада, внутри воздушного зазора и в утеплителе под действием градиентов давления, которые возникают при воздействии ветрового напора. Количественное определение этих градиентов давления воздуха является задачей аэродинамики здания. По своей величине скорости движения воздуха, вызванные ветровым напором вдоль фасада здания, в воздушном зазоре и в утеплителе отличаются на порядки.

Так, если для движения воздуха вдоль фасада характерны скорости в несколько метров в секунду, то для соответствующего движения воздуха в воздушном зазоре – в несколько сантиметров в секунду, а для движения воздуха в утеплителе – в несколько сантиметров в минуту. Поэтому при рассмотрении проблем внешней аэродинамики здания чаще всего не учитывается движение воздуха в воздушном зазоре, а при рассмотрении проблем движения воздуха в воздушном зазоре не учитывается движение воздуха в утеплителе.

Но даже сравнительно небольшое движение воздуха в утеплителе способно переносить количество теплоты, сопоставимое с тепловыми потерями конструкции без фильтрации [2,3].

Влияние фильтрации воздуха на теплоперенос рассматривается далее на примере межоконных простенков. Межоконные простенки, даже при отсутствии фильтрации, характеризуются пониженным значением приведенного сопротивления теплопередаче из-за наличия оконных откосов.

В то же время в некоторых современных зданиях площадь по фасаду простенков между окнами составляет значительную долю от площади стен (рис. 2).



Рисунок 2 - Пример здания с вентилируемым фасадом и с многочисленными оконными простенками

Следует отметить, что межоконные простенки подвержены наибольшему влиянию продольной фильтрации воздуха в утеплителе не потому, что при равных условиях воздух в утеплителе для этого узла движется интенсивнее (очевидно, что интенсивность движения воздуха зависит только от градиента давления и будет везде примерно одинакова), а потому, что чем короче путь воздуха в утеплителе, тем меньше он успевает прогреться и интенсивнее отводит теплоту из конструкции.

Для определенности рассматривается фильтрация воздуха вдоль стены в направлении, перпендикулярном боковому оконному откосу (в положительном направлении оси  $y$ ).

Это наиболее простой и характерный случай, позволяющий проиллюстрировать особенности исследуемого процесса. Задача сводится к двумерной, а дифференциальное уравнение теплопроводности в стационарном случае принимает вид

$$\lambda_x \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} - c_B \cdot G_c \cdot \frac{\partial t}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

где  $x, y$  – координаты, м;

$t$  – температура, °С;

$\lambda_x, \lambda_y$  – расчетные коэффициенты теплопроводности по соответствующим направлениям, Вт/(м·°С);

$G_c$  – плотность потока воздуха через конструкцию, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $G_c > 0$ , если воздух движется в положительном направлении оси  $y$ ,  $G_c < 0$  – если в отрицательном.

Введенная величина  $G_c$  отличается от общепринятой воздухопроницаемости  $G$  размерностью (представляет количество воздуха в секунду, а не в час). Эти величины связаны соотношением:

$$G = 3600 \cdot G_c \quad (3)$$

Плотность потока воздуха через конструкцию  $G_c$ , входящая в уравнение (2), определяется формулой [1]

$$G_c = \frac{\Delta P}{3600 \cdot (2R_{и.вм.} + \frac{L}{i})} = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{1}{3600 \cdot (\frac{2R_{и.вм.}}{L} + \frac{1}{i})} \quad (4)$$

где  $L$  – длина участка конструкции, по которому движется воздух, м;

$\Delta P$  – разность давлений на участке конструкции, вызывающая фильтрацию воздуха, Па;

$\Delta P/L$  – градиент давления воздуха в теплоизоляционном слое конструкции, Па/м;

$i$  – коэффициент воздухопроницаемости теплоизоляционного материала, кг/(м·ч·Па);

$R_{и.вм.}$  – сопротивление воздухопроницанию ветрогидрозащитной мембраны, м<sup>2</sup>·ч·Па/кг;

$1/3600$  – размерный коэффициент, связанный с переходом от часов в коэффициенте воздухопроницаемости к секундам в плотности потока воздуха.

Величины  $\Delta P$ ,  $i$ ,  $L$  являются параметрами, необходимыми для расчета значения  $G_c$ . Градиент давления воздуха вдоль фасада здания,  $\Delta P/L$ , зависит как от геометрии здания, так и от параметров ветрового режима. Эта величина существенно изменяется во времени, а для проведения расчетов принимается ее среднее значение.

Корректное определение этой величины для проведения инженерных расчетов требует специальных исследований.

Коэффициент воздухопроницаемости теплоизоляционных материалов и сопротивление воздухопроницанию ветрогидрозащитной мембраны определяются экспериментально. Для назначения их расчетных значений также требуются специальные исследования. Для полного задания математической модели процесса теплопереноса на участке ограждающей конструкции требуется записать граничные условия. В общем случае на границах участка конструкции принимаются граничные условия III рода с добавлением плотности потока теплоты переносимого фильтрацией воздуха [4,5].

– на границах ограждения, параллельных направлению потока воздуха:

$$\begin{cases} \lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_n \cdot (t - t_n) - \text{на наружной границе ограждения} \\ \lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_v \cdot (t_v - t) - \text{на внутренней границе ограждения} \end{cases} \quad (5)$$

– на границах ограждения, перпендикулярных направлению потока воздуха:

$$\begin{cases} \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} = (t - t_n) \cdot (\alpha_n + c_v \cdot G_c) - \text{на наружной границе ограждения} \\ \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_v \cdot (t_v - t) - \text{на внутренней границе ограждения} \end{cases} \quad (6)$$

На стыке материалов должно выполняться два условия.

Первое – в месте стыка температуры обоих материалов должны быть равны, второе – по обе стороны от стыка плотности потоков теплоты должны совпадать по направлению и равняться по модулю.

Система уравнений 2, 4, 5, 6 является математической моделью температурного поля в утеплителе, учитывающей продольную фильтрацию воздуха. Указанная система уравнений позволяет качественно и количественно описать процесс продольной фильтрации воздуха в слое утеплителя и решается методом конечных разностей.



### Список литературы

1. Богословский В.Н., Строительная теплофизика. М., «Высшая школа», 1982.-415с.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Вопросы теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Сборник докладов конференций, проводившихся в рамках выставок “Международной строительной недели – 2004”. М., КВЦ “Сокольники”, стр. 127 - 132.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Журнал АВОК. 2004, №2, №3.
4. Bartussek H. Luftdurchlässige Konstruktionen / H. Bartussek // Schweizer Ingenieur and Architekt. 1986. - № 30-31 - S. 725-734.
5. Медведева Е. В. К расчету нестационарного температурного поля в наружных ограждениях зданий с учетом фильтрации воздуха / Е. В. Медведева, Н. А. Парфентьева, В. Н. Титов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1977. - № 11. - С. 144-148.

УДК 621.56/57

**Монах Светлана Игоревна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;  
**Растопчина Елена Юрьевна,**  
магистрант гр.ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ**

*Аннотация:* Статья посвящена решению задачи математического моделирования температурного поля и тепловых режимов в тепловых аккумуляторах с фазовым переходом, которая по-прежнему является актуальной. Объектом моделирования является температурное поле в кожухотрубном аппарате, реализующим пассивный способ переноса теплоты между теплоносителем и тепловым аккумулирующим материалом. Рабочее тело (легкоплавкий теплоаккумулирующий материал) заполняет межтрубное пространство, а подвод (отвод) теплоты осуществляется от теплоносителя к теплоаккумулирующему материалу (ТАМ) через твердую поверхность теплообмена, выполненную в виде пучка вертикальных теплообменных трубок. Авторами определена математическая модель охлаждения затвердевающего полого цилиндра, ограниченной высоты, позволяющая выбрать алгоритм расчета и программные средства для нахождения относительной массы твердой фазы системы в зависимости от времени, оценить время разрядки накопителя тепла и выходную температуру теплоносителя, т.е. параметров аккумулятора теплоты, обеспечивающих требуемый уровень температуры теплоносителя на выходе из него в течении желаемого времени разрядки.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, температурное поле, тепловой режим, тепловой аккумулятор с фазовым переходом, теплоаккумулирующий материал, поверхность теплообмена, относительная масса твердой фазы, время разрядки, выходная температура теплоносителя.

Задачу математического моделирования температурного поля и тепловых режимов в тепловых аккумуляторах с фазовым переходом (ТАФП) решали многие исследователи, в том числе и ученые кафедры теплогазоснабжения и вентиляции А.В. Лукьянов и В.В. Остапенко ДонНАСА [1,2].

Однако следует отметить, что адекватного описания температурного поля в ТАФП, как в режиме плавления, так и в режиме затвердевания, имеющего окончательное решение, получить не удалось. Поэтому эта задача по-прежнему, остается актуальной. В связи с этим, предметом настоящего исследования является разработка математической модели указанных процессов.

Несмотря на разнообразные попытки технологического усовершенствования, наиболее распространенным типом аккумуляторов теплоты являются кожухотрубные аппараты, реализующие пассивный способ переноса теплоты между теплоносителем и тепловым аккумулирующим материалом (ТАМ). Поэтому дальнейшее рассмотрение относится к устройствам подобного типа. Предполагается, что рабочее тело заполняет межтрубное пространство, а подвод (отвод) теплоты осуществляется от теплоносителя к ТАМ через твердую поверхность теплообмена, выполненную, например, в виде пучка вертикальных теплообменных трубок.

Проектирование таких устройств предполагает предварительное определение массы теплоаккумулирующего материала  $M$ , площади поверхности теплообмена  $F$  и ряда других параметров аппарата. Тепловой расчет аппарата, с целью определения его параметров

возможен при наличии математической взаимосвязи вышеперечисленных величин, т.е. математической модели, описывающей тепловое состояние устройства. Известно, что точное описание весьма затруднительно. Необходимо использование упрощенных подходов, учитывающих, основные особенности рассматриваемых процессов плавления и затвердевания, в частности, их нестационарность. Авторами предлагается приближенное описание квазистационарного теплопереноса в теплоаккумулирующей ячейке (ТАМ - ячейке) фазопереходного аккумулятора теплоты (ТАПФ).

Рассмотрим баланс теплосодержания системы расплав-твердая фаза произвольного объема  $V$  [3]. В соответствии с первым законом термодинамики тепло, отводимое от объема  $V$ , через наружную поверхность  $F$ :

$$-dQ_F = dI - V \cdot dP$$

а, при неизменном давлении  $P$

$$dQ_F = dI \text{ или } q_F = \frac{dQ_F}{d\tau} = \frac{dI}{d\tau} \quad (1)$$

где  $q_F$  - тепловой поток, отводимый теплоносителем от затвердевающего ТАМ, Вт.

Пренебрегая межфазными эффектами и используя принцип аддитивности, для энтальпии системы  $I$ , как функции времени  $\tau$ , можно записать

$$I(\tau) = M_T(\tau) \cdot i_T[\overline{T}_T(\tau)] + M_{ж}(\tau) \cdot i_{ж}[\overline{T}_{ж}(\tau)] \quad (2)$$

Здесь индексы «Т» и «ж» относятся к твердой и жидкой фазам системы, а  $M$ ,  $i$  и  $T$  - соответственно масса, (кг), удельная энтальпия, (кДж/кг) и среднеобъемная температура, (К) соответствующей фазы.

Запишем уравнение (1) с учетом уравнения (2)

$$q_F = \left( i_T \cdot \frac{dM_T}{d\tau} + M_T \cdot \frac{di_T}{d\tau} + i_{ж} \frac{dM_{ж}}{d\tau} + M_{ж} \cdot \frac{di_{ж}}{d\tau} \right)$$

или

$$q_F = - \left( i_T \cdot \frac{dM_T}{d\tau} + M_T \cdot \frac{di_T}{d\overline{T}_T} \cdot \frac{d\overline{T}_T}{d\tau} + i_{ж} \frac{dM_{ж}}{d\tau} + M_{ж} \cdot \frac{di_{ж}}{d\overline{T}_{ж}} \cdot \frac{d\overline{T}_{ж}}{d\tau} \right).$$

$\frac{di_T}{d\overline{T}_T} = C_T$ , а  $\frac{di_{ж}}{d\overline{T}_{ж}} = C_{ж}$  - теплоемкости ТАМ в твердом и жидком состоянии, тогда получим

$$q_F = - \left( i_T \cdot \frac{dM_T}{d\tau} + M_T \cdot C_T \cdot \frac{d\overline{T}_T}{d\tau} + i_{ж} \frac{dM_{ж}}{d\tau} + M_{ж} \cdot C_{ж} \cdot \frac{d\overline{T}_{ж}}{d\tau} \right). \quad (3)$$

Поскольку  $T_\Phi$  - температура фазового перехода ТАМ фиксированная величина, а его скрытая теплота,  $r$ , кДж/кг, также определена, то для удельных энтальпий фаз справедливы выражения

$$i_T(T_\Phi) = i_T(\overline{T}_T) + C_T \cdot (T_\Phi - \overline{T}_T);$$

$$i_{ж}(T_\Phi) = i_{ж}(\overline{T}_{ж}) + r + C_{ж} \cdot (\overline{T}_{ж} - T_\Phi).$$

Общая масса системы ( $M_\Phi$ , кг) неизменна

$$M_\Phi = M_T(\tau) + M_{ж}(\tau) = const$$

$$\frac{dM_T}{d\tau} = - \frac{dM_{ж}}{d\tau},$$

Уравнение (3) для теплового потока запишется

$$q_F = [C_T \cdot (T_\Phi - \overline{T}_T) + r + C_{ж} \cdot (\overline{T}_{ж} - T_\Phi)] \cdot \frac{dM_T}{d\tau} - C_T \cdot M_T \cdot \frac{d\overline{T}_T}{d\tau} - C_{ж} \cdot (M - M_{ж}) \cdot \frac{d\overline{T}_{ж}}{d\tau} \quad (4)$$

Для одномерной задачи аналогичный вывод может быть получен путем усреднения задачи Стефана по объему [33].

В случае постоянной температуры жидкой фазы и равной температуре фазового перехода  $T_\Phi$ , уравнение (4) приобретает вид

$$q_F = [C_T \cdot (T_\Phi - \overline{T}_T) + r] \cdot \frac{dM_T}{d\tau} - C_T \cdot M_T \cdot \frac{d\overline{T}_T}{d\tau}, \quad (5)$$

Использование уравнения (5) возможно при известной взаимосвязи переменных

$T_T$  и  $M_T$ , а также конкретизации левой части равенства. В [3] такая взаимосвязь (как и определение  $q_F$ ) установлена для системы расплав-твердая фаза в виде двумерной пластины.

Реальные аккумуляторы чаще всего представляют собой кожухотрубные устройства, в которых единичная ячейка рабочего объема (канал для прокачивания теплоносителя и окружающий его теплоаккумулирующий материал) имеет четко выраженную аксиальную симметрию. В этой связи подход, предложенный в [3] распространим на случай цилиндрической геометрии [4].

Рассмотрим цилиндрический элемент конечной высоты  $H$ , центральная часть которого занята полым каналом (трубкой) радиуса  $R_1$ , а остальной объем - расплавленным ТАМ с одинаковой во всех точках температурой, равной температуре плавления  $T_\Phi$ . В начальный момент времени в канал поступает теплоноситель, входная температура которого  $t_1$  ниже температуры фазового перехода  $T_\Phi$  ( $t_1 < T_\Phi$ ). Отвод тепла от затвердевающего ТАМа осуществляется только теплоносителем, так как наружная ( $R=R_2$ ) и торцевые поверхности цилиндра теплоизолированы. Термическими сопротивлениями поверхности теплообмена и пристенного слоя теплоносителя пренебрегаем, полагая, что его температура в любой точке по высоте канала равна минимальной (в данном сечении) температуре твердой фазы ТАМ.

Задача, схема которой, в соответствии с вышеизложенным, показана на рис. 1, состоит в установлении временного хода температуры теплоносителя на выходе из канала  $t_2(x)$ . Как и в [3], для её решения используем допущение о квазистационарности теплового состояния ТАФП.

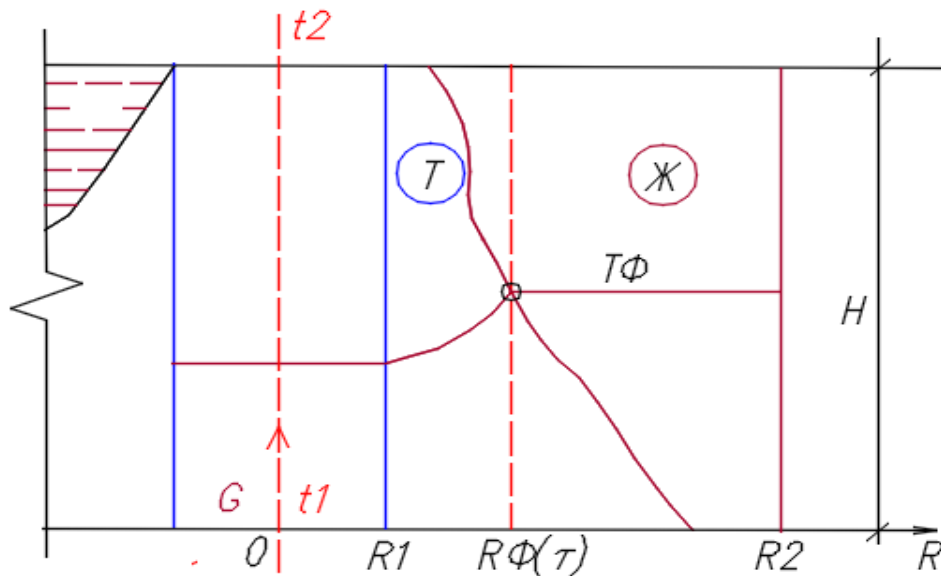


Рисунок 1 - Схема задачи затвердевания полого двумерного цилиндра  
 Т- твёрдая фаза ТАМ; Ж - жидкая фаза ТАМ (расплав)

При этом принимаем следующие допущения.

1. Сечению, в котором радиус твердой фазы равен среднему  $\bar{R}_\Phi(\tau)$  (см. рис.2) соответствуют средние температуры теплоносителя  $\bar{t}$  (по высоте канала) и твёрдой фазы ТАМ  $\bar{T}_T$  (по её объёму), а также средняя линейная плотность теплового потока  $q_l$ , Вт/м. Радиус  $\bar{R}_\Phi$  связан с массой твёрдой фазы  $M_T$  соотношением

$$\pi \cdot H \cdot (\bar{R}_\Phi^2 - \bar{R}_1^2) = \frac{M_T}{\rho_T} \quad (6)$$

где  $\rho_T$  - плотность затвердевшего ТАМ.

2. Распределение температуры твердой фазы по радиусу в сечении по п.1 соответствует одномерному и стационарному (при подвижной границе  $\bar{R}_\Phi$ ), что позволяет с учетом уравнения (6) записать среднюю линейную плотность теплового потока как

$$q_l = \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot (T_\Phi - \bar{t})}{\ln\left(1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot \bar{R}_1^2 \cdot \rho_T}\right)} \quad (7)$$

где  $\lambda_T$ — коэффициент теплопроводности твёрдой фазы, Вт/м·К.

3. Разность температур  $T_\Phi - \bar{t}$  представим в виде среднелогарифмического температурного напора

$$T_\Phi - \bar{t} = \Delta \bar{t} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T_\Phi - t_1}{T_\Phi - t_2}} \quad (8)$$

4. Течение теплоносителя квазистационарное, следовательно тепловой поток  $q_F$ , отводимый от ТАМ, равен

$$q_F = C \cdot G \cdot (t_2 - t_1) \quad (9)$$

где  $C$ , кДж/кг·К, и  $G$ , кг/с, теплоёмкость и массовый расход теплоносителя соответственно.

Наличие вышеуказанных положений позволяет установить взаимосвязь переменных  $\bar{T}_T$  и  $M_T$ , а также выразить тепловой поток  $q_F$  через  $M_T$ .

В соответствии с допущением по п.2 распределение температуры в «среднем» сечении затвердевшего слоя ТАМа по радиусу является логарифмическим,

$$T_T = \bar{t} + (T_\Phi - \bar{t}) \cdot \frac{\ln R/R_1}{\ln \bar{R}/R_1},$$

а его усреднение [35] с учетом уравнения (6) дает

$$\bar{T}_T = \bar{t} + (T_\Phi - \bar{t}) \cdot \left[ 1 + \frac{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T}{M_T} - \frac{1}{\ln \left( 1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T} \right)} \right] \quad (10)$$

Зная, что  $q_F = q_l \cdot H$ , и используя уравнения (7-9), проведя промежуточные преобразования, для вычисления выходной температуры  $t_2$ , получим

$$t_2 = T_\Phi - (T_\Phi - t_1) \cdot \exp \left[ - \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot H}{C \cdot G \cdot \ln \left( 1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T} \right)} \right] \quad (11)$$

Подставив (11) в (8) и используя уравнение (10), получаем выражение для определения среднеобъемной температуры твердой фазы

$$\bar{T}_T = T_\Phi - (T_\Phi - t_1) \cdot \frac{1 - \exp \left[ - \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot H}{C \cdot G \cdot \ln \left( 1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T} \right)} \right]}{\frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot H}{C \cdot G \cdot \ln \left( 1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T} \right)}} \cdot \left[ \frac{1}{\ln \left( 1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T} \right)} - \frac{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T}{M_T} \right] \quad (12)$$

Подставив (11) в (9) получим выражение теплового потока  $q_F$  в виде функции массы твёрдой фазы  $M_T$

$$q_F = C \cdot G \cdot (T_\Phi - t_1) \cdot \left( 1 - \exp \left[ - \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot H}{C \cdot G \cdot \ln \left( 1 + \frac{M_T}{\pi \cdot H \cdot R_1^2 \cdot \rho_T} \right)} \right] \right). \quad (13)$$

Использование балансового соотношения (5), помимо (12) и (13), предполагает наличие производной среднеобъемной температуры  $T_T$  по времени  $t$ , т.е. дифференцирование уравнения (12) Поскольку плотности жидкой  $\rho_{ж}$  и твердой  $\rho_T$  фаз различны, высота ТАМ  $H$ , м, также является функцией массы твёрдой фазы  $M_T$  (а, следовательно, и времени  $t$ ). Определим зависимость  $H = f(M_T)$  из следующих соображений.

Согласно рис.1, полный объём системы

$$V = \pi \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot H \quad (14)$$

или

$$V = V_T + V_{ж} = \frac{M_T}{\rho_T} + \frac{M - M_T}{\rho_{ж}} \quad (15)$$

Приравнявая правые части (14) и (15), определяем высоту ТАМ,  $H$ , м

$$H = \frac{1}{\pi \cdot (R_2^2 - R_1^2)} \cdot \left[ \frac{M}{\rho_{ж}} + M_T \cdot \left( \frac{1}{\rho_T - \rho_{ж}} \right) \right]$$

или

$$H = H_0 \cdot [1 - m_T \cdot (1 - K_\rho)] \quad (16)$$

где  $H_0 = \frac{M}{\pi \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot \rho_{ж}}$  – начальная высота ТАМ при его полном расплавлении, м;

$K_\rho = \frac{\rho_{ж}}{\rho_T}$  и  $m_T = \frac{M}{M_T}$  – соответственно относительная плотность ТАМ и относительная масса твердой фазы.

С учетом уравнения (16) и принятых обозначений

$$\frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot H}{C \cdot G} = 2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1) \cdot [1 - m_T \cdot (1 - K_\rho)] \quad (17)$$

где  $r_2 = \frac{R_2}{R_1}$ ;

$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_T \cdot H \cdot R_1}{C \cdot G \cdot (R_2 - R_1)}$  – режимный параметр единичной ячейки аккумулятора.

Для определения достаточно общей связи среднеобъемной температуры и массы твердой фазы уравнения (17) и (12) решаются совместно, в результате получим

$$\bar{T}_T = T_\Phi - \frac{(T_\Phi - t_1)}{2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1)} \cdot \langle 1 - \exp[-\Phi(m_T)] \rangle \cdot \langle 1 - \frac{\ln[1+p(m_T)]}{m_T \cdot (r_2^2 - 1)} \rangle, \quad (18)$$

где  $\Phi(m_T) = \frac{2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1) \cdot [1 - m_T \cdot (1 - K_\rho)]}{\ln[1+p(m_T)]}$ .

В результате дифференцирования (18), получим

$$\begin{aligned} \frac{\bar{T}_T}{dT} = & \frac{1}{m_T} \cdot \frac{(T_\Phi - t_1)}{2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1)} \cdot \left\langle \frac{2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1)}{\ln[1+p(m_T)]} \cdot \left\{ (1 - K_\rho) + \frac{K_\rho \cdot (r_2^2 - 1)}{[1 + m_T \cdot (K_\rho \cdot (r_2^2 - 1))] \cdot \ln[1+p(m_T)]} \right\} \right\rangle \times \\ & \left\{ 1 - \frac{\ln[1+p(m_T)]}{m_T \cdot (r_2^2 - 1)} \right\} \cdot \frac{\exp[-\Phi(m_T)] \cdot m_T}{1 - \exp[-\Phi(m_T)]} + \left\{ \frac{K_\rho}{[1 - m_T \cdot (1 - K_\rho)] \cdot \ln[1+p(m_T)]} - \frac{\ln[1+p(m_T)]}{m_T \cdot (r_2^2 - 1)} \right\} \cdot [1 - \\ & \exp[-\Phi(m_T)]] \cdot \frac{dm_T}{dT} \end{aligned} \quad (19)$$

Тепловой поток по уравнению (13) с учётом выполненных выводов и принятых обозначений запишется как

$$q_F = C \cdot G \cdot (T_\Phi - t_1) \cdot [1 - \exp[-\Phi(m_T)]] \quad (20)$$

С целью определения зависимости массы твердой фазы от времени (в безразмерном виде)  $m_T(\tau)$ , подставим уравнения (18-20) в уравнение (5). Для упрощения обозначим выражение в треугольных скобках из уравнения (19) через  $F(m_T)$ . Тогда, после преобразований, получим

$$\frac{dFo_T}{dm_T} = \frac{\omega \cdot (r_2 + 1)}{2} \cdot \left[ \frac{1}{2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1)} - \frac{1 - m_T \cdot (1 - K_\rho)}{m_T \cdot (r_2^2 - 1) \cdot \Phi(m_T)} + \frac{Ko}{1 - \exp[-\Phi(m_T)]} \right] - \frac{1}{4} \cdot \frac{(r_2 + 1)}{(r_2 - 1)} \cdot F(m_T) \quad (21)$$

где  $Fo_T = \frac{\tau \cdot \lambda_T}{C_T \cdot \rho_T \cdot (R_2 - R_1)^2}$  – число Фурье;

$Ko = \frac{r}{C_T \cdot (T_\Phi - t_1)}$  – число Коссовича.

Уравнение (21) представляет собой уравнение с разделяющимися переменными и может быть решено в квадратурах (численное интегрирование) [5] относительно числа Фурье  $Fo_T$ .

$$Fo_T = \frac{\omega \cdot (r_2 + 1)}{2} \cdot \int_0^{m_T} \left[ \frac{1}{2 \cdot \omega \cdot (r_2 - 1)} - \frac{1 - m_T \cdot (1 - K_\rho)}{m_T \cdot (r_2^2 - 1) \cdot \Phi(m_T)} + \frac{Ko}{1 - \exp[-\Phi(m_T)]} \right] dm_T - \frac{1}{4} \cdot \frac{r_2 + 1}{r_2 - 1} \cdot \int_0^{m_T} F(m_T) dm_T \quad (22)$$

Следует отметить, что при выводе уравнений (21) и (22) расход теплоносителя  $G$  и его входная температура  $t_1$  приняты постоянными. Интегрирование уравнения (22) может быть выполнено численно, например методом Симпсона.

Полученные соотношения позволяют проанализировать значимость влияния различных параметров на интенсивность процесса затвердевания ТАМ [6, 7, 8]. Для этого может быть использовано как дифференциальное уравнение (21), что предпочтительнее при расчете зависимости  $Fo_T(m_T)$ , так и квадратурное соотношение (22), которое целесообразно применять, если верхний предел интегрирования известен, например, 1.

Таким образом, определена математическая модель охлаждения затвердевающего полого цилиндра, ограниченной высоты, позволяющая выбрать алгоритм расчета и

программные средства для нахождения относительной массы твёрдой фазы системы в зависимости от времени, оценить время разрядки накопителя тепла и выходную температуру теплоносителя, т.е. параметров аккумулятора теплоты, обеспечивающих требуемый уровень температуры теплоносителя на выходе из него в течении желаемого времени разрядки.

### **Список литературы**

1. Остапенко, В.В. Фазопереходный аккумулятор теплоты для нужд систем теплоснабжения: дис. ... канд. техн. наук 05.23.03 / Остапенко Виталий Валерьевич. – Макеевка, 2015, - 170с.
2. Умеренков, Е. В. Разработка аккумуляторов теплоты на фазовом переходе для систем теплоснабжения: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Умеренков Евгений Валериевич. - Курск, 2012.-196 с.
3. Токарь, Б. З. Приближенный расчет температуры теплоносителя на выходе из фазопереходного аккумулятора теплоты (режим разрядки) / Б. З. Токарь, Ю. С. Быковцев, Э. В. Котенко // Труды 2-й рос. нац. конф. по теплообмену / Московский энергетич. ин-т. - М.: Изд-во МЭИ, 1998. - Т. 7. - С. 217-220.
4. Кобелев, Н. С. Решение задачи отвода теплоты от затвердевающего теплоаккумулирующего материала (ТАМа) / Н. С. Кобелев, Э. В. Котенко, Е. В. Умеренков // Известия Курск, гос. техн. ун-та. - 2010. - № 1 (30). - С. 77-81.
5. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов измерений / Л. З. Румшинский. - М.: Наука, 1971. - 192 с.
6. Кобелев, Н. С. К расчету характеристик кожухотрубного аккумулятора тепла на фазовом переходе / Н. С. Кобелев, Э. В. Котенко, Е. В. Умеренков // Известия Курск, гос. техн. ун-та. - 2011. - № 5-2 (38). - С. 331-334.
7. Умеренков, Е. В. Моделирование процесса разрядки фазопереходного аккумулятора теплоты кожухотрубного типа / Е. В. Умеренков, Э. В. Котенко // Научный вестник Воронеж, гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. - 2011. №1(21)-С.34-39.
8. Умеренков, Е. В. Моделирование процесса затвердевания теплоаккумулирующего материала / Е. В. Умеренков, Э. В. Котенко // Научный вестник Воронеж, гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. - 2012. - № 1 (25) - С. 41-49.

УДК 66.063. 532.5

Монах Светлана Игоревна,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;

Чеботаренко Алексей Вячеславович,  
магистрант гр.ЗТГВм-53в кафедры ТТГВ;

Пищенко Екатерина Александровна,  
магистрант гр.ЗТГВм-53а кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИКОКАЛОРИЙНОГО ТОПЛИВА В КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*Аннотация:* Статья посвящена изучению проблем использования в коммунальной энергетике низкокалорийных газов, к которым относятся: газы химической промышленности, древесный газ, пиролизный газ, коксовый газ, газ мусорных отходов, биогаз, газ сточных вод. На основе анализа теплотворной способности различных видов низкокалорийных газов в работе сделан вывод, что наиболее перспективным для использования в коммунальной энергетике, в частности в когенерационных установках, является биогаз. Определены три основных проблемы использования низкокалорийных газов: колебания давления в подающих газовых магистралях; их изменяющаяся теплотворная способность; загрязнение газов различными примесями и определены способы решения этих проблем.

*Ключевые слова:* коммунальная энергетика, когенерационная установка, низкокалорийный газ, теплотворная способность, колебания давления, редуктор, ресивер, соотношение воздух/топливо, схема динамического регулирования, сухая очистка, абсорбер, осушка газа.

На сегодняшний день проблема энергетической безопасности стоит особенно остро. Большинство основных энергетических фондов давно устарели физически и морально, что приводит к перерасходу энергетических ресурсов. Но эта проблема не нова в мире. Многие специалисты из разных стран видят решение этой проблемы в децентрализации производства тепла и электроэнергии, и в объединении их в одном энергетическом объекте - установке когенерации. Сейчас существует множество компаний - производителей тепла и электроэнергии, предлагающих разнообразные технические и инвестиционные проекты, ориентированные на индивидуальные потребности заказчика.

В мировом энергетическом секторе наблюдается устойчивая тенденция к увеличению производства и потребления энергии. Даже с учетом значительных структурных изменений в промышленности и перехода на энергосберегающие технологии потребности в тепле и электроэнергии в предстоящие десятилетия возрастут. Поэтому особенно широкое использование комбинированных электростанций в мире свидетельствует о новой тенденции к развитию местной энергетики как наиболее рентабельной и экологически чистой отрасли топливно-энергетического комплекса.

Природный газ используется в качестве основного вида топлива для комбинированных электростанций, однако в последние годы все шире используются альтернативные виды топлива, главным образом биогаз. Биогаз может быть получен на биогазовых станциях, расположенных рядом с дренажными станциями, муниципальными свалками и сельскохозяйственными предприятиями со специализацией на животноводство.



Целью этой статьи является изучение и решение актуальной проблемы использования низкокалорийных газов на установках когенерации [1]. Были собраны данные о существующих типах обедненных газов, их свойствах, особенностях использования обедненных газов в качестве топлива для когенерационных установок (КУ).

Именно свойства газов являются одним из основных параметров, влияющих на их применимость в качестве топлива для двигателей установок когенерации. Некоторые свойства могут существенно повлиять на стоимость оборудования или полностью исключить его эксплуатацию.

Производство электроэнергии для собственных нужд с помощью КУ значительно дешевле по сравнению с покупкой ее из сети, в случае ее продажи можно воспользоваться выгодными тарифами на электроэнергию, произведенную из возобновляемых источников энергии.

Поскольку биогаз является сопутствующим продуктом при переработке органических отходов, расходы на эксплуатацию завода будут связаны только с вычетами за оборудование и за обслуживание. Экономический эффект будет состоять как из экономии денег на отопление и электричество, так и из средств на продажу электроэнергии во внешнюю сеть.

Низкокалорийные газы - это все виды газов, за исключением природного (биогаз, древесный газ, газ мусорных свалок и т.д.). Эти газы довольно часто имеют почти противоположные характеристики. Это могут быть как газы с низкой теплотворной способностью (газы химической промышленности от  $0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ), с низким содержанием метана и низкой степенью детонации, так и газы с очень высокой теплотворной способностью (бутан - до  $34 \text{ кВт}/\text{нм}^3$ ).

На рисунке 1 показана шкала теплотворной способности газов [2].

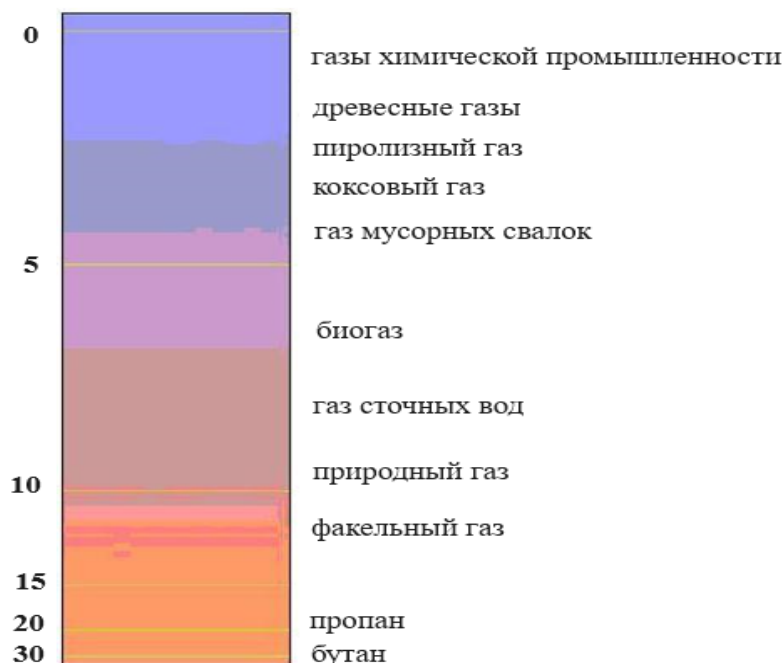


Рисунок 1 - Шкала теплотворной способности газов в  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$

В подавляющем большинстве случаев наиболее эффективным вариантом для основного двигателя КУ, работающего на обедненных газах, являются газовые поршневые двигатели с искровым зажиганием.

По сравнению с природным газом низкокалорийные газы имеют более низкую теплотворную способность, более низкие температуры пламени и колебания состава.

Зачастую они загрязнены сопутствующими веществами, которые могут вызывать выброс вредных веществ или нарушение технологического процесса [2, 3].

Низкокалорийные газы, которые получили наибольшее использование в энергетическом секторе на данном этапе его развития следующие: газ химической промышленности; пиролизный газ; попутный газ (нефть-газ); газ мусорных свалок; газ сточных вод; биогаз.

Так, для производства искусственных смол, используемых в деревообрабатывающей промышленности, а также в производстве бумаги и резины, требуется формалин. Около 12000 м<sup>3</sup>/ч обедненных газов, образующихся в качестве побочного продукта, обеспечивают 2 МВт электроэнергии, а также пар для химических процессов.

При получении пиролизного газа метод термоотбора позволяет утилизировать самые различные отходы: бытовой и промышленный мусор, легкие фракции, остающиеся при дроблении материалов, крупногабаритный мусор, шламовые массы, выходящие при обработке сточных вод, зараженную землю, а также мусор, который снова прибывает на свалку. Посредством уплотнения мусора, удаления воздуха, гомогенизации и дегазации при температуре в канале удаления газов более 600 °С, добавления чистого кислорода, а также плавления минеральных и металлических включений эта технология представляет собой закрытую систему утилизации отходов. Завод, производящий пиролизный газ, работает по независимой схеме электроснабжения. Синтетический газ, вырабатываемый в высокотемпературном реакторе, подвергается шок-охлаждению и многоступенчатой очистке. Этот газ, с одной стороны, обеспечивает установку необходимой энергией, с другой стороны, с его помощью в газовом поршневом двигателе вырабатывается электроэнергия.

Попутный нефтяной газ представляет собой смесь газа и паров углеводородов и неуглеводородных компонентов, выбрасываемых из нефтяных скважин и из пласта нефти во время ее дегазации. В зависимости от района добычи и параметров сепарации от одной тонны нефти получают от 25 до 800 м<sup>3</sup> газа.

Наиболее важной характеристикой, связанной с использованием газа в газовом двигателе, является его устойчивость к детонации. Она определяется значением метанового числа. Метан с высокой детонационной устойчивостью имеет индекс 100. В то время как метановое число бутана равняется 10, а водорода - 0. Количество метана в попутном нефтяном газе рассчитывается специальным методом, и в зависимости от района добычи и условий производства его значение составляет от 25 до 95.

Что касается газа мусорных отвалов уже через несколько месяцев после вывоза отходов на свалку под воздействием микроорганизмов начинается разложение органических веществ. Конечным продуктом этого процесса является, в частности, газовая смесь, состоящая из (45-60)% метана (СН<sub>4</sub>), (25-35)% диоксида углерода (СО<sub>2</sub>) и (10-20)% азота (N). Метан более чем в двадцать раз опаснее для климата, чем углекислый газ. Неконтролируемо выделяемый газ затрудняет или делает невозможным утилизацию отходов. Поэтому, для ускорения рекультивации и для устранения неприятных факторов, предотвращения тлеющих пожаров и выделяющихся газов необходимо улавливать газ. Таким образом, он может использоваться в качестве энергоносителя. Теплотворная способность газа, выделяющегося из отвалов, составляет приблизительно 5 кВт·ч/м<sup>3</sup>, то есть половину теплотворной способности природного газа [4].

Отстоянные шламовые массы - это, как правило, отходы механической, биологической или химической очистки, которые затем высушиваются. После этого шламовые массы подаются в метантенк, где во время анаэробного сбраживания выделяется биохимический газ, который в своем составе имеет метан. При этом используется тепловая энергия для нагрева массы осадка до температуры (32 - 34) °С, что способствует выбросу биогаза в метантенке. Газ сточных вод состоит в среднем из 50-60% метана (СН<sub>4</sub>), 30-40% углекислого газа (СО<sub>2</sub>) и

небольших объемов других примесей. Этот газ сжимается, при больших объемах вредных веществ очищается, а затем перекачивается в промежуточное хранение в газгольдер. Откуда газ сточных вод с постоянным давлением подается в энергетическую установку. Газовые двигатели преобразуют энергию, содержащуюся в отработанном газе, в механическую и тепловую энергию. Они запускают синхронный генератор, который, в свою очередь, вырабатывает электроэнергию для снабжения ею очистной установки. Излишек идет в общественную энергосистему. Шлам, из которого удален газ, поступает из метантенка на промежуточное хранение, высушивается и перерабатывается в компост, а затем в зависимости от его качества сбрасывается на свалку или передается в сельское хозяйство в виде удобрений.

Известно, что биогаз представляет собой смесь метана и двуокиси углерода, образующуюся в процессе анаэробного сбраживания, то есть производимую без доступа воздуха в специальных реакторах - метантенках, устроенных и регулируемых таким образом, чтобы обеспечить максимальный выход метана. Энергия, получаемая при сжигании биогаза, может достигать 60-90% от энергии, которую содержит исходный материал. Еще одним - и очень важным - преимуществом процесса переработки биомассы является то, что ее отходы содержат гораздо меньше патогенов, чем в исходном материале [6]. Основными компонентами биогаза являются: метан ( $\text{CH}_4$ ) - (55-70)%; двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) - (28-43)%; ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и другие газы в небольших количествах. В среднем из 1 кг органического вещества, биологически разложенного на 70%, производится 0,18 кг метана, 0,32 кг диоксида углерода, 0, 2кг воды и 0,3 кг неразложенных отходов. Поскольку разложение органических отходов происходит из-за деятельности определенных видов бактерий, окружающая среда оказывает на них значительное воздействие. Так, количество вырабатываемого газа во многом зависит от температуры: чем теплее, тем выше скорость и степень брожения органического сырья. Именно поэтому, предположительно, первые установки для получения биогаза появились в странах с тёплым климатом. Однако использование надежной теплоизоляции, а иногда и греющего теплоносителя позволяет применять конструкцию биогазовых генераторов в районах, где температура зимой падает до  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ . Существуют определенные требования к сырью: оно должно быть пригодным для развития бактерий, содержать биоразлагаемые органические вещества, и в больших количествах - воду (90-94)%. Желательно, чтобы среда была нейтральной и без веществ, которые мешают действию бактерий: например, мыло, стиральные порошки, антибиотики.

Получение биогаза, возможно в установках различных размеров, и особенно эффективно в агропромышленных комплексах, где есть возможность полного экологического цикла. Биогаз используется для отопления, приготовления пищи, для приводных механизмов, транспорта, генерации электроэнергии [3]. Получение биогаза экономически оправдано и предпочтительно при переработке постоянного потока отходов (сточных вод животноводческих хозяйств, скотобоен, растительных отходов и т.д.). Экономия заключается в том, что нет необходимости в предварительном сборе отходов, в организации их поставки и всегда известно, сколько и когда будут получены отходы.

Вместе с получением тепла при сжигании биогаза, например в котлоагрегатах, когенерация дает возможность получения электрической энергии, которая может быть использована для собственных нужд объекта или может быть продана в общую распределительную сеть. Производство электроэнергии для собственных нужд значительно дешевле, чем ее покупка в сети, в случае ее продажи можно воспользоваться выгодными тарифами на электроэнергию, произведенную из возобновляемых источников энергии. Поскольку биогаз является сопутствующим продуктом при переработке органических отходов, затраты на эксплуатацию завода будут связаны только с вычетами за оборудование и

услуги. Доходы будут равны сэкономленным деньгам на отопление и электричество, а также средствам на продажу электроэнергии сети.

Одновременно с получением тепла при сжигании низкокалорийных газов, полученных из отходов, например в котлоагрегатах, когенерация дает возможность получения электрической энергии, которая может быть использована для собственных нужд объекта или может быть продана в общую распределительную сеть. Производство электроэнергии для собственных нужд значительно дешевле, чем ее покупка в сети, в случае ее продажи можно воспользоваться выгодными тарифами на электроэнергию, произведенную из возобновляемых источников энергии.

Общеизвестны проблемы использования низкокалорийных газов, основными из которых являются: колебания давления в магистралях таких газов; их изменяющаяся теплотворная способность; загрязнение газов различными примесями.

Колебания давления в газопроводе низкокалорийного газа могут увеличить содержание вредных веществ в отработанных газах, или привести к колебаниям мощности, или даже к отключению оборудования. Поэтому газовая сеть должна обеспечивать: постоянство давления и его стабильность в установленных для оборудования; величина объема накопления в газопроводе не должна при пиковом потреблении газа превышать 30% от давления газа в состоянии покоя, когда расход газа изменяется от нуля до номинального, или наоборот. В таблице 2 указаны требования к устойчивости давления низкокалорийных газов.

Таблица 2 – Устойчивость давления низкокалорийных газов

Наименование	Значение
Максимальное изменение давления газа (колебания давления) с постепенным изменением мощности от 0 до 100%, %	10
Максимальное изменение давления газа в постоянном режиме, %	2,5
Скорость изменения давления газа, %/сек	1

Решить эту проблему можно с помощью редукторов – для обеспечения постоянного давления и ресиверов - для накопления газа.

Широкое применение низкокалорийных газов с переменной теплотворной способностью стало возможным после решения задачи динамичного контроля соотношения воздух/топливо [6].

В качестве автономной системы управления соотношением воздух/топливо в системе газоснабжения имеются специально спроектированные быстродействующие клапаны с короткой продолжительностью открытия и закрытия. Таким образом, они могут использоваться как для низкооборотных, так и для высокооборотных двигателей.

Эти клапаны обладают многими преимуществами, особенно с точки зрения динамики и безопасности двигателя: очень хорошая реакция двигателя на изменения нагрузки в результате впрыска газа перед впускным клапаном (очень низкая инерция потока газа); оптимальное дозирование газа для каждого цилиндра, за счет чего достигается расчетная мощность двигателя и низкое содержание вредных веществ в отработанных газах; регулирование количества газа для каждого цилиндра; нет риска детонации; возможность избегать пропусков горения (для этого некоторые остаются закрытыми).

Вместе со смесителем клапан обеспечивает идеальное соотношение воздух/топливо без дополнительной системы управления двигателем и без необходимости присутствия специалистов по техническому обслуживанию.

Благодаря использованию этих клапанов расход газа в КУ значительно снижается [3].

На рисунке 2 показана схема динамического регулирования соотношения воздух/топливо с использованием специального быстродействующего клапана.

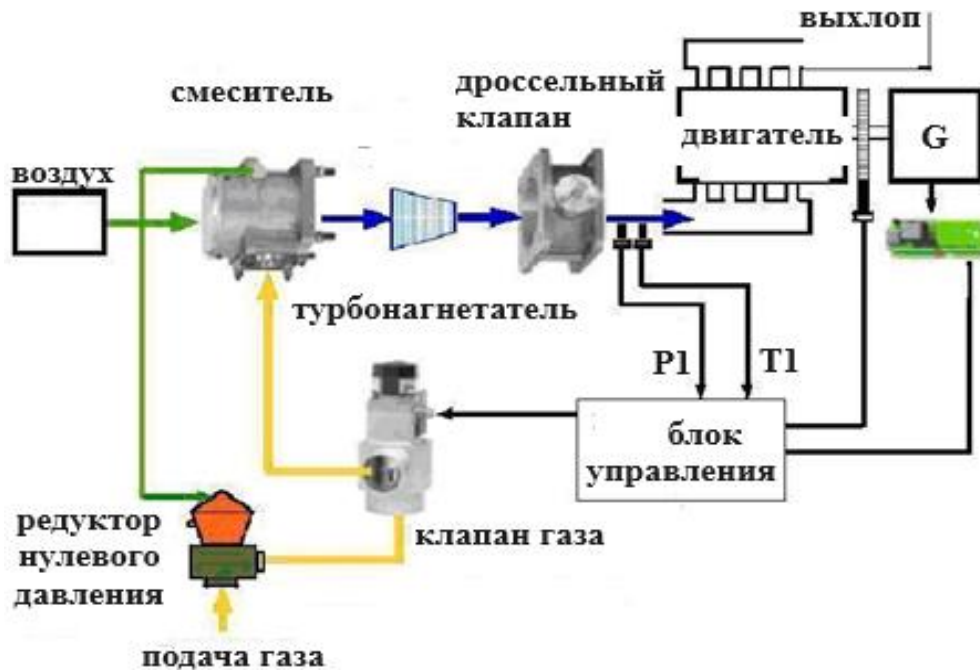


Рисунок 2 – Схема динамического регулирования управлением соотношения воздух/топливо с использованием специального быстродействующего клапана

Основными компонентами системы динамического управления соотношением воздух/топливо являются: смеситель, клапан газа, редуктор нулевого давления.

Соотношение воздуха и топлива в основном определяется смесителем. До тех пор, пока выход нулевого редуктора давления остается таким же, как входное давление смесителя, соотношение воздуха и топлива будет постоянным. Расход газа определяется размером отверстий дозирования газа. На практике размеры отверстий дозирования газа определяются таким образом, что они несколько больше, чем теоретически необходимые, что позволяет использовать основной регулирующий винт для увеличения расхода газа в ограниченном диапазоне.

Третьей значительной проблемой использования низкокалорийных газов является их загрязнение различными примесями.

Проблемные загрязнители низкокалорийных газов включают: тяжелые углеводороды; соединения серы и азота, вызывающие сильную коррозию двигателя и оборудования для рекуперации тепла; высокое содержание влаги, часто в виде жидкой фазы.

Для безопасного использования таких газов в производстве при низких затратах на ремонт были разработаны различные способы максимального удаления таких попутных веществ [7]. Самый простой и экономичный способ очистки низкокалорийных газов от сероводорода - это сухая очистка в специальном фильтре. В качестве абсорбера используют металлическую "губку", состоящую из смеси оксида железа и деревянной стружки. Например, используя  $0,035\text{ м}^3$  металлической "губки" из биогаза может извлечь 3,7 кг серы. Для регенерации губки, ее нужно подержать в течение некоторого времени на воздухе.

Минимальная стоимость материалов, простота работы фильтра и регенерации абсорбера делают этот метод надежным средством защиты газового газгольдера, компрессоров и двигателей внутреннего сгорания от коррозии, вызванной длительным воздействием

сероводорода, содержащегося в больших количествах в низкокалорийных газах. Оксид цинка также является эффективным абсорбентом сероводорода, и это вещество имеет дополнительные преимущества: оно также поглощает органические соединения серы (карбонил, меркаптан и т.д.).

Для уменьшения содержания влаги в низкокалорийных газах перед использованием используется предварительная осушка газа.

Таким образом, на основе анализа теплотворной способности различных видов низкокалорийных газов (в зависимости от источников их получения) можно сделать вывод, что наиболее перспективным для использования в коммунальной энергетике, в частности в когенерационных установках, является биогаз. Определены три основных проблемы использования низкокалорийных газов: колебания давления в подающих магистралях; их изменяющаяся теплотворная способность; загрязнение газов различными примесями и определены способы решения этих проблем.

### **Список литературы**

1. Крутой Л.М., Заславский Е. Г. Когенерационные установки на базе газомоторных генераторов//энергосбережение. Энергетика. Энергетический аудит, No. 4 - 2005. - стр. 50-57.
2. Сайт компании "Новое поколение" [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://www.manbw.ru/>
3. Сайт компании "Когенерация.Ру" [Электронный ресурс] - Режим доступа - <http://www.cogeneration.ru>
4. Сайт компании "dena" [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://www.energieforum.ru/>
5. Сайт компании "Восточная техника" [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://www.vost-tech.ru>
6. Сайт компании "SV-Technology" [Электронный ресурс] - Режим доступа - <http://www.sv-teh.ru>
7. Сайт компании "VIVA ТЕКС" [Электронный ресурс] - Режим доступа - <http://www.cogenerator.ru>

УДК 620.91

Монах Светлана Игоревна,

кандидат технических наук,

доцент кафедры ТТГВ;

Швайдюк Дарья Игоревна,

магистрант гр.ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ;

Сень Сергей Сергеевич,

магистрант гр.ЗТГВм-53в кафедры ТТГВ,

ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СХЕМ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕПЛОТУ ГРУНТОВ ТЕРРИКОНОВ

*Аннотация:* Статья посвящена исследованию возможных схем автономных систем теплоснабжения, для которых источником теплоты являются отработанные шахтные отвалы. Реализация таких систем теплоснабжения возможна с использованием теплонасосных технологий. В работе проанализированы возможные режимы эксплуатации автономных систем теплоснабжения; определяющие факторы при выборе (разработке) схемы; потенциальные потребители тепла ТНУ, использующей теплоту грунтов терриконов. Авторами предложены принципиальные технологические схемы автономных систем теплоснабжения с теплонасосными установками, использующими тепло грунтов терриконов для различных типов потребителей.

*Ключевые слова:* автономная система теплоснабжения, теплота грунтов терриконов, теплонасосные технологии; режимы эксплуатации; моновалентный; бивалентный; бивалентный моноэнергетический; бивалентно-параллельный; бивалентно-альтернативный; потребители тепла; принципиальная технологическая схема.

Теплоаккумулирующая особенность терриконов, объем которых достигает несколько сот тысяч и свыше миллиона кубометров отвальных пород, заключается в их огромной энергоемкости. Это обстоятельство без оглядки на теплотери в транспортном трубопроводе позволяет передавать низкопотенциальное тепло на значительные расстояния от террикона к тепловому насосу потребителя [1, 2]. Потребителями тепла таких систем могут быть автономные системы теплоснабжения промышленных, административных и жилых зданий, расположенных на расстоянии до 1200 м от породного отвала. Особый интерес представляет теплоснабжение шахт и других промышленных объектов, которые находятся в непосредственной близости с терриконами, так как в большинстве случаев данные объекты обладают значительными нагрузками систем теплоснабжения, что непосредственно влияет на стоимость выпускаемой продукции.

На рисунке 1 представлена возможная схема интеграции тепловых насосов в систему энергоснабжения объектов городского хозяйства [3]. Как видно из рисунка, предлагаемая схема обеспечивает экономию 60% первичного топлива.

В настоящее время разработаны различные технологические схемы по использованию тепла терриконов в зависимости от их теплового состояния. Для использования тепла потухших терриконов предложена схема, представленная на рисунке 2 [4].

Установка (рис.2) включает три замкнутых контура: I - низкопотенциального теплоносителя, II - рабочего тела, III - теплоснабжения. Работает установка следующим образом. В первом контуре по трубопроводу 1, проложенном в основе погасшего нагретого террикона 2, с помощью циркуляционного насоса 5 постоянно прокачивается техническая вода, которая нагревается, отбирая тепло из массива террикона. В контуре II с помощью компрессора 9 циркулирует рабочий агент - озонобезопасный фреон. Через контур III горячая вода подающим насосом 13 направляется потребителю 12. Взаимосвязь контуров происходит

по принципу работы классического теплового насоса через теплообменник - испаритель 8 и конденсатор 10.

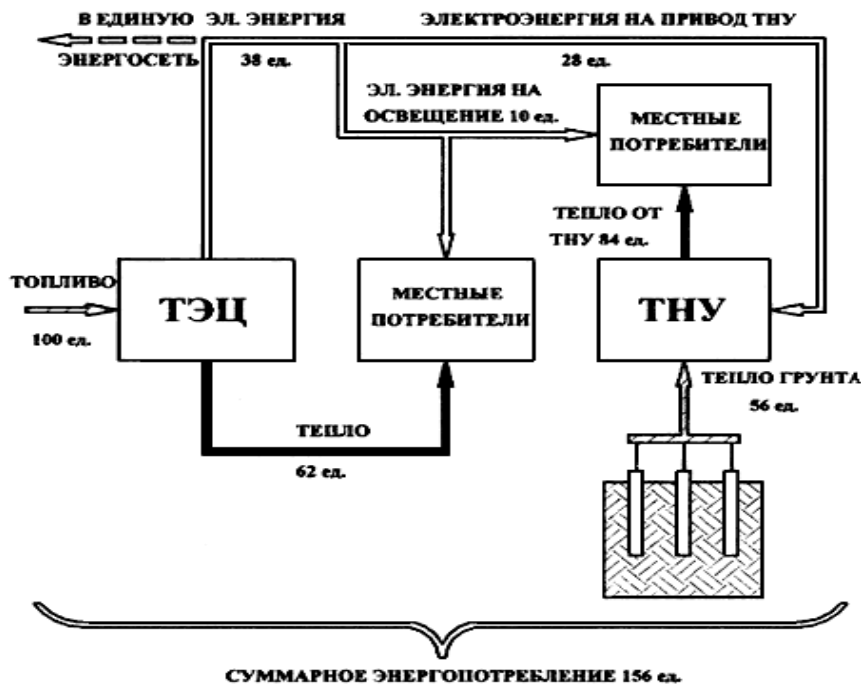


Рисунок 1 - Схема интеграции тепловых насосов в систему энергоснабжения коммунального хозяйства

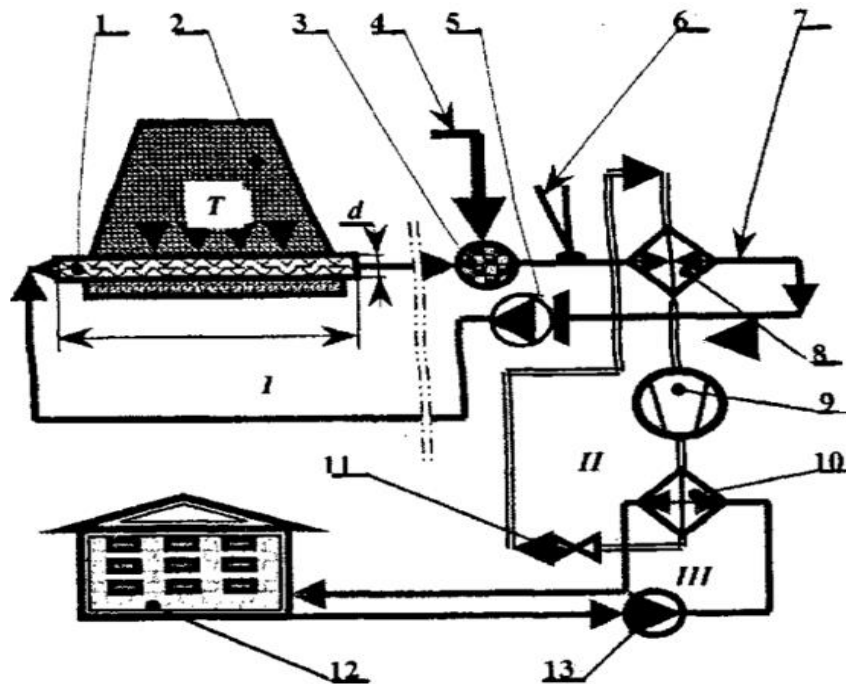


Рисунок 2 - Схема теплонасосной установки, использующей теплоту грунтов террикона  
 1 - трубопровод; 2 - террикон; 3 - теплообменник; 4 - линия холодной воды; 5 - циркуляционный насос; 6 - датчик уровня температур; 7 - транспортный трубопровод; 8 - теплообменник - испаритель; 9 - компрессор; 10 - конденсатор; 11 - регулирующий дроссель; 12 - потребитель; 13 - подающий насос; L и d - соответственно длина и диаметр трубопровода в терриконе.



При такой схеме контур II со всем комплексом оборудования может быть максимально приближен к контуру III. Непрерывный отбор тепла из террикона с постоянной температурой независимо от сезонных погодных условий обеспечивает стабильную и эффективную работу теплонасосной установки с высоким коэффициентом полезного действия. В итоге это позволяет получить выигрыш тепловой мощности в 4 - 5 раз, превышающей энергозатраты на циркуляцию воды в контурах I, III, и компримирование теплоносителя в контуре II.

Однако, проведя анализ данной схемы, можно сделать вывод, что она является поверхностной и вряд ли может быть работоспособной, поэтому не может быть принята за основу в конкретном проекте. Основными недостатками данной схемы являются:

1 Даная схема не описывает проблемы прокладки трубопровода, воспринимающего тепло пород террикона, так как при основных методах бестраншейной прокладки при  $D < 400$  мм длина не должна превышать 50-70 м, а габариты терриконов в большинстве случаев составляют от 200 до 600 м.

2 Не рассмотрена возможность аккумуляции теплоносителя и методы распределения его по контурам системы теплоснабжения потребителя, что оказывает значительное влияние на тепловую схему.

Для реализации задачи построения тепловой схемы, использующей теплоту пород терриконов, рассмотрим возможные режимы работы ТНУ.

Режим эксплуатации тепловых насосов зависит, прежде всего, от системы распределения тепла, имеющейся в существующих зданиях. Если требуемая температура подачи выше максимальной температуры подачи теплового насоса ( $55-95^{\circ}\text{C}$ ), то тепловой насос может эксплуатироваться только в качестве дополнения к обычному генератору тепла [3]. В новом проектируемом здании система распределения тепла может, как правило, свободно выбираться. Принимая во внимание максимально высокие годовые рабочие коэффициенты, в таких случаях следует выбирать систему распределения тепла с максимальной температурой подачи  $55 - 35^{\circ}\text{C}$ . На рисунке 3 приведена диаграмма мощности теплового насоса вода/вода Vitocal 300 (тип WW 113) производства фирмы Viessman [6].

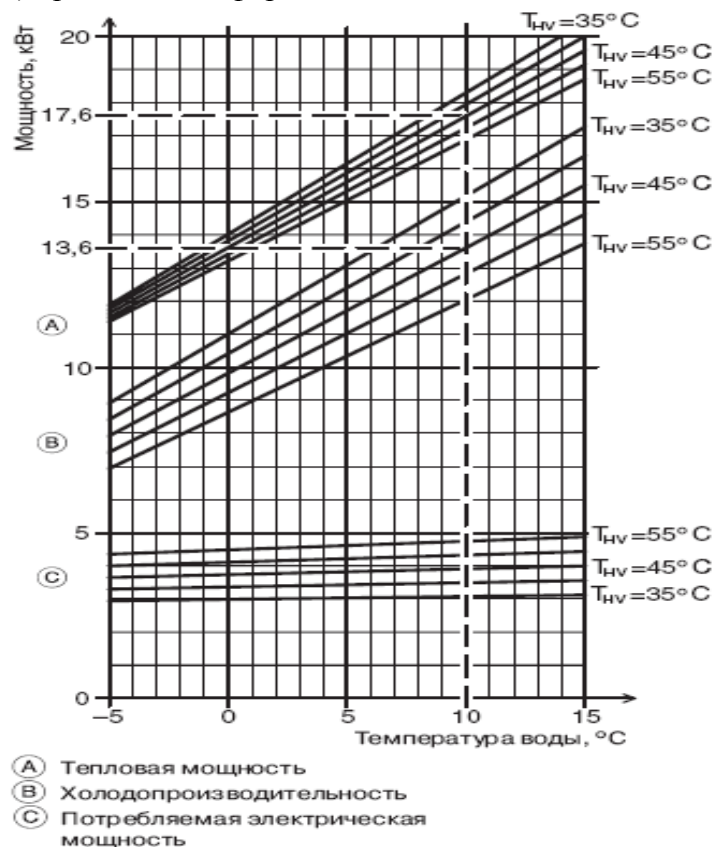


Рисунок 3 - Диаграмма мощности теплового насоса вода/вода Vitocal 300 (тип WW 113)

С технической точки зрения можно различать следующие режимы эксплуатации:

1 Моновалентный режим эксплуатации, который означает, что тепловая насосная установка (ТНУ), как единственный генератор тепла, обеспечивает покрытие всей отопительной нагрузки здания. Предпосылкой этого служит подключение системы распределения тепла, рассчитанной на температуру подачи ниже максимальной температуры подачи теплового насоса. Однако высокие годовые рабочие коэффициенты достигаются только в сочетании с системой распределения тепла, как упоминалось выше, с максимальной температурой подачи около 35 °С.

2 Бивалентный режим эксплуатации. Отопительная установка, работающая в бивалентном режиме, имеет два генератора тепла. Тепловой насос с электрическим приводом комбинируется, по крайней мере, еще с одним генератором тепла, работающим на твердом, жидком или газообразном топливе, или электроэнергии – в этом случае говорят о бивалентном моноэнергетическом режиме.

В объединенных системах тепловых насосов с водогрейными котлами возможны два варианта работы: бивалентно-параллельный и бивалентно-альтернативный.

Бивалентно-параллельный режим означает, что общая потребность в тепловой энергии обеспечивается тепловым насосом и водогрейным котлом. Водогрейный котел используется в качестве вспомогательного источника тепла. Управление всей схемой осуществляется с помощью регулятора теплового насоса, в зависимости от температуры наружного воздуха (так называемой температуры бивалентной точки) и потребности в тепле отопительных контуров (рис. 4). Максимальная температура подающего теплоносителя в системе отопления не должна превышать 55-65°С. В типовых схемах бивалентно-параллельных систем принимается, что тепловой насос обеспечивает от 50 до 70% потребности объекта в тепле. Суммарная продолжительность работы насосов в течение отопительного периода составляет от 75 до 92%. Отопительные установки, оснащенные тепловым насосом и водогрейным котлом, прекрасно работают на новых, качественно изолированных объектах с низкотемпературными системами отопления, например системами напольного отопления. Для таких систем используются тепловые насосы типа "рассол - вода" или "вода - вода", гарантирующие поставку тепловой энергии на протяжении всего отопительного периода.

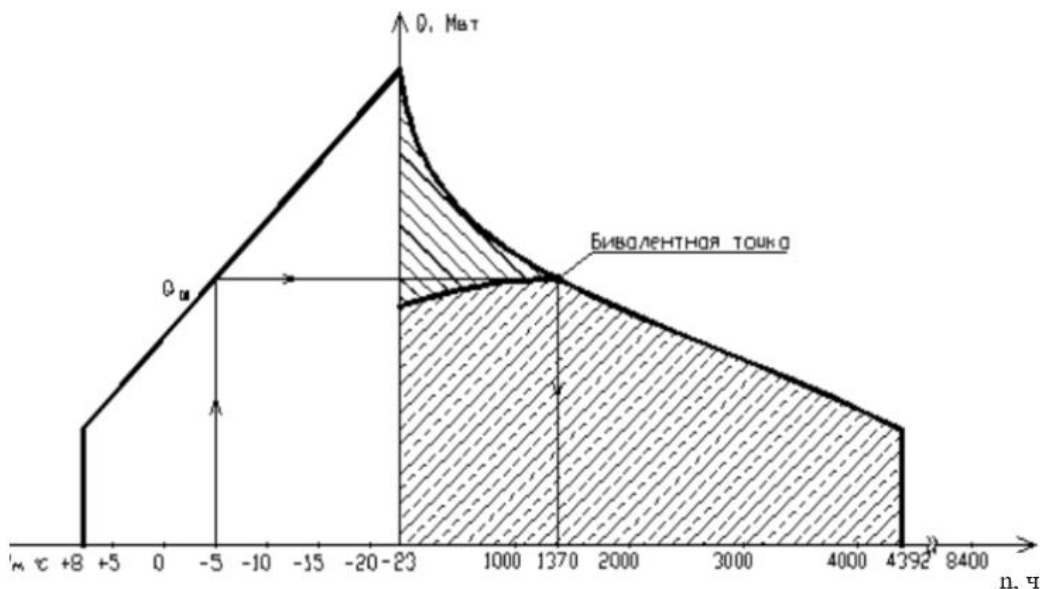


Рисунок 4 - Бивалентно-параллельный режим эксплуатации ТН и водогрейного котла

Бивалентно-альтернативный режим означает, что тепловой насос снабжает отопительные контуры теплом до определенной температуры наружного воздуха - бивалентной точки. После того, как температура наружного воздуха опустится ниже этого значения, тепловой насос отключается, и водогрейный котел покрывает 100% потребности объекта в тепле (рис. 5).

Регулятор теплового насоса управляет отключением теплового насоса и запуском котла. При бивалентно-альтернативном режиме в случае необходимости можно обеспечить температуру подающего теплоносителя выше  $55^{\circ}\text{C}$ . В связи с этим бивалентно-альтернативный режим системы "тепловой насос - водогрейный котел" больше подходит для зданий с традиционной системой радиаторного отопления. Принимая во внимание, что эффективность работы тепловых насосов типа "воздух - вода" в диапазоне низких температур наружного воздуха - относительно невысока, использовать бивалентно-альтернативный режим рекомендуется, прежде всего, для таких систем, но он подходит и для систем с другими типами тепловых насосов.

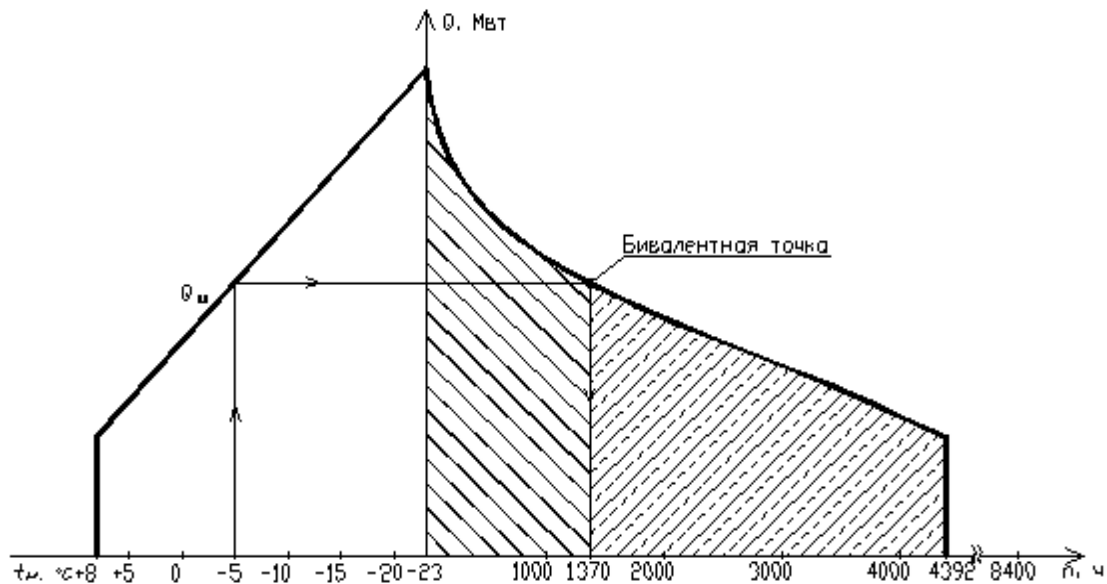


Рисунок 5 - Бивалентно-альтернативный режим эксплуатации ТН и водогрейного котла

Основными потребителями могут быть автономные системы теплоснабжения промышленных, административных и жилых зданий, расположенных на расстоянии до 1200 м от породного отвала. Если проанализировать ситуационные съемки местности вблизи терриконов, находящихся в черте города Дзержинска, можно сделать вывод, что на таком расстоянии существует значительное количество объектов, которые можно рассматривать, как потенциальных потребителей. Таковыми могут быть системы теплоснабжения шахт, цехов промышленных предприятий, жилого сектора, представленного малоэтажными частными домами. В городах Донецк и Макеевка потребителями могут являться многоквартирные жилые дома и торгово-административные центры. Например, в центре Червоногвардейского района города Макеевки за счет ТНУ, использующей тепло недействующего породного отвала, можно покрывать нагрузки на теплоснабжение магазинов, кафе, административных зданий. Также потенциальными потребителями тепла могут быть построенные в будущем объекты, в таком случае на стадии проектирования должны рассматриваться вопросы адаптации систем теплоснабжения этих зданий под работу с ТН для получения максимальной эффективности (в частности проектирование низкотемпературных систем отопления). Каждый тип потребителей нуждается в индивидуальном подходе при выборе (разработке) схемы теплоснабжения.

Определяющими факторами при выборе (разработке) схемы являются: нагрузка системы теплоснабжения здания; динамика ее изменений; требуемые температурные параметры теплоносителей.

Характеристика потенциальных потребителей тепла ТНУ, использующей теплоту грунтов терриконов, сведена в таблицу 1.

Исходя из анализа режимов работы ТН и характеристики потребителей, разработаны принципиальные технологические схемы автономного теплоснабжения на базе ТНУ, использующих тепло грунтов терриконов.

Предложена схема для теплоснабжения частных жилых домов, коттеджей. Данная схема может быть эффективно применена для подключения группы потребителей небольшой мощности. Установка состоит из системы сбора низкопотенциального тепла террикона и контуров индивидуальных (для каждого потребителя) ТНУ. Преимуществом данной схемы является возможность подключения потребителей с различным тепловыми схемами и режимами работы тепловых насосов.

Исходя из анализа режимов работы ТН и характеристики потребителей, разработаны принципиальные технологические схемы автономного теплоснабжения на базе ТНУ, использующих тепло грунтов терриконов.

Таблица 1 - Характеристика потенциальных потребителей тепла ТНУ, использующей теплоту грунтов терриконов

№ пп	Тип потребителя	Характеристика потребителя
1	2	3
1	Частные жилые дома, коттеджи	Для данного типа потребителей характерны небольшие нагрузки систем теплоснабжения, порядка 10-80 кВт. Температурный режим систем отопления может быть представлен как высокотемпературными системами с температурой подачи до 95 °С, так и низкотемпературными системами с температурой подачи 55 °С или 35 °С (в системах внутрипольного отопления). Нагрузка ГВС таких потребителей составляет 15-25% от общего теплоснабжения. При подключении к ТНУ в зданиях старой конструкции необходимо проводить термомодернизацию.
2	Многоквартирные жилые дома	Потребители этого типа характеризуются значительными нагрузками систем теплоснабжения (200-700 кВт) и значительной суточной неравномерностью потребления тепла. Температурный режим систем отопления представлен в основном высокотемпературными системами отопления, гораздо реже низкотемпературными системами с температурой подачи 55-65 °С. Большая часть существующих зданий старой конструкции плохо утеплена, поэтому при подключении к ТНУ для эффективной работы, может потребоваться термомодернизация наружных ограждающих конструкций и систем распределения тепла, в частности, повышения качества регулирования. В проектируемых зданиях при использовании ТНУ следует учитывать особенности их работы и проектировать с низкотемпературными системами отопления. Для данного потребителя ТНУ может быть использована в качестве источника тепла для нужд ГВ.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
3	Гостиничные комплексы, центры отдыха	Отличительной особенностью данного типа потребителей является более высокая нагрузка систем ГВС, которая может составлять порядка 35% от общей нагрузки системы теплоснабжения, поэтому ТНУ также может быть использована для нужд ГВ.
4	Торговые и административные комплексы	Основная нагрузка в данной группе приходится на системы отопления и теплоснабжения калориферов систем вентиляции, которые могут быть как высокотемпературными с температурой подачи до 95 °С, так и низкотемпературными с температурой подачи 55 °С. При этом необходимо учитывать значительное снижение нагрузки в ночное время. Нагрузка ГВС таких потребителей составляет 10-15% от общего теплоснабжения.
5	Промышленные предприятия	Промышленными предприятиями, расположенными вблизи терриконов, в большинстве случаев являются шахты, к которым они относятся. Для этой группы потребителей характерны высокотемпературные системы со значительными тепловыми нагрузками. Тепло может расходоваться на системы отопления, теплоснабжения калориферов, ГВС, технологические процессы. В качестве привода компрессора ТНУ целесообразно использование двигателей внутреннего сгорания, работающих на газе. Особый интерес для такой схемы составляют шахты, на которых производится добыча шахтного газа.

Предложена схема для теплоснабжения частных жилых домов, коттеджей. Данная схема может быть эффективно применена для подключения группы потребителей небольшой мощности. Установка состоит из системы сбора низкопотенциального тепла террикона и контуров индивидуальных (для каждого потребителя) ТНУ. Преимуществом данной схемы является возможность подключения потребителей с различным тепловыми схемами и режимами работы тепловых насосов.

Установка работает следующим образом. В системе сбора низкопотенциального тепла (ССНТ) террикона циркуляционным насосом постоянно прокачивается теплоноситель, который нагревается, проходя через теплоприемники, расположенные в массиве террикона. В качестве последних могут быть применены коаксиальные теплоприемники типа «труба в трубе». Распределение теплоносителя по теплоприемникам осуществляется с помощью гребенок. После чего теплоноситель с температурой порядка 8-18 °С подается в магистральную систему, к которой подключаются индивидуальные ТНУ потребителей. С помощью насосов теплоноситель направляется к испарителю теплового насоса, откуда, отдав теплоту, возвращается в обратную линию. И цикл повторяется. При этом потребление тепла регулируется у каждого потребителя отдельно. Для снижения затрат на перекачку теплоносителя ССНТ во время понижения общей нагрузки (например, при повышении температуры наружного воздуха) регулировочный клапан прикрывается, снижая расход теплоносителя, циркулирующего в ССНТ. Вслед за чем снижается частота двигателей насосов при сохранении перепада давления в сети. Принципиальные тепловые схемы потребителей с различными режимами работы ТН могут быть приняты по [6]. На рисунках 6, 7, 8 представлены некоторые из них.

Предложенная принципиальная схема теплоснабжения потребителя при моновалентном режиме эксплуатации ТН приведена на рисунке 6. Схема теплоснабжения потребителя при бивалентно-параллельном режиме эксплуатации ТН приведена на рисунке 7, а при бивалентно-альтернативном режиме эксплуатации ТН на рисунке 8.

При разработке систем теплоснабжения для промышленных предприятий следует учитывать, что одной из важнейших задач собственников любого предприятия является снижение затрат на энергоснабжение. Авторами предложена принципиальная технологическая схема автономной системы теплоснабжения с ТНУ, использующей тепло грунтов терриконов, которая представляет собой решение эффективного использования первичного тепла энергоносителей.

Особенностью данной схемы является то, что ее можно использовать для теплоснабжения потребителей с высокотемпературными системами отопления.

Теплонасосная установка представляет собой агрегат с двигателем внутреннего сгорания, работающим на газе, мощность которого тратится на привод компрессора ТН. При этом на газовом двигателе внутреннего сгорания (двигатель - Отто) возникает собственное тепло, которое посредством водо-водяных пластинчатых теплообменников снимается с масляной, охлаждающей системы двигателя, а также через трубчатый водогазовый теплообменник с системы выхлопных газов. Полученное тепло используется для повышения температуры подающего теплоносителя, после его нагрева в конденсаторе теплового насоса.

Схема может представлять особый интерес для предприятий, производящих добычу биогаза или шахтного газа, важным преимуществом является возможность работы на двух видах газообразного топлива.

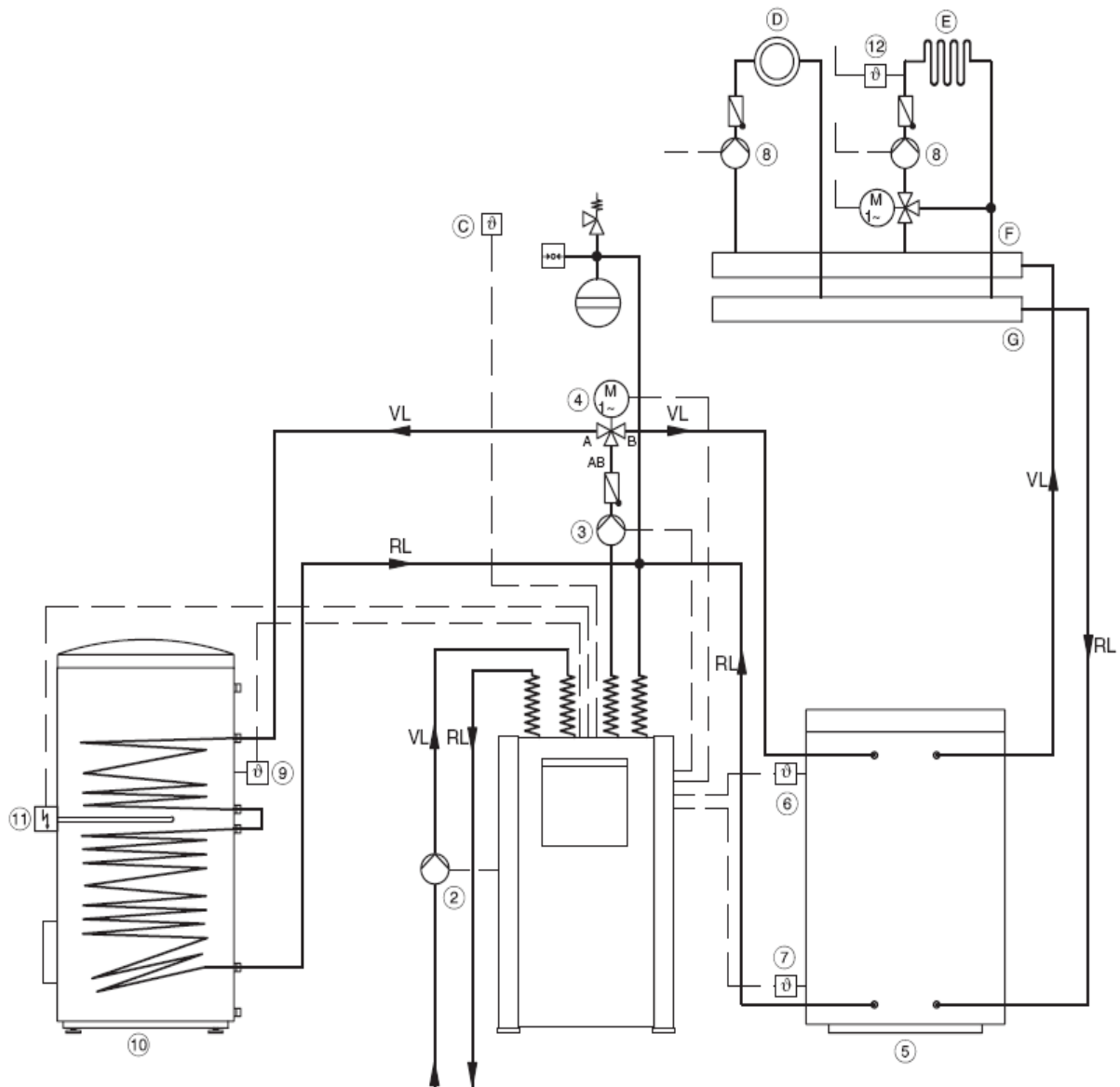


Рисунок 6 - Принципиальная схема теплоснабжения потребителя при моновалентном режиме эксплуатации ТН

1 – тепловой насос с контролером; 2 – циркуляционный насос низкотемпературного контура; 3 – циркуляционный насос подающей магистрали системы теплоснабжения; 4 – трехходовой переключающий клапан; 5 – буферная емкость сетевой воды; 6 – датчик температуры буферной емкости (верхний); 7 - датчик температуры буферной емкости (нижний); 8 – циркуляционный насос контура; 9 – датчик температуры емкостного водонагревателя; 10 – емкостной водонагреватель; 11 – система дополнительного электроподогрева; 12 – накладной датчик температуры; С – датчик наружной температуры; D – отопительный контур; E – контур внутривольного отопления; F – распределительная гребенка подающей магистрали; G - распределительная гребенка обратной магистрали; VL – подающий трубопровод; RL – обратный трубопровод.

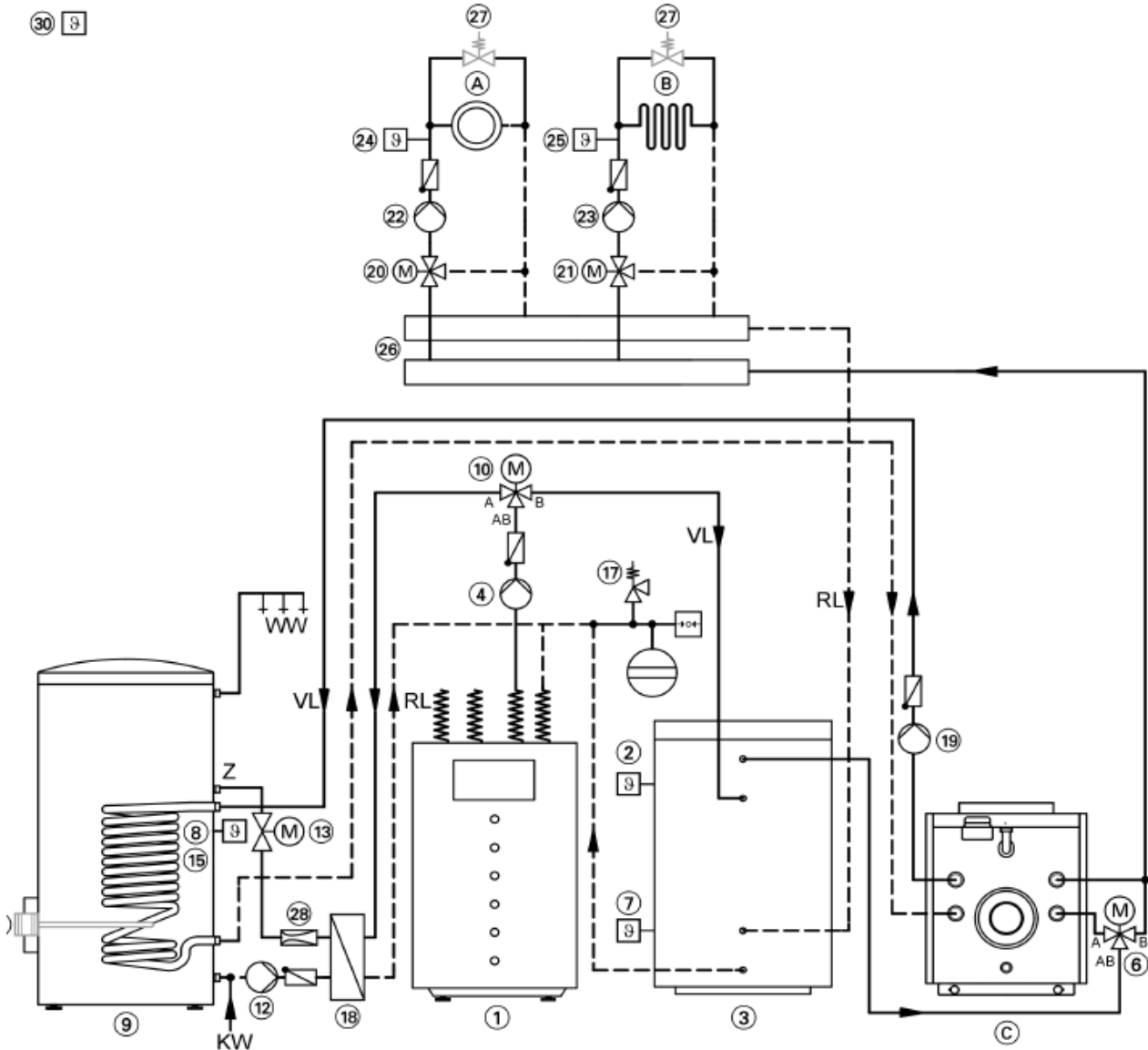


Рисунок 7 - Принципиальная схема теплоснабжения потребителя при бивалентно-параллельном режиме эксплуатации ТН

1 – тепловой насос; 2 – датчик для регистрации температуры в буферной емкости греющего контура (верхний); 3 – буферная емкость греющего контура; 4 – циркуляционный насос подающей магистрали; 6 – 3-ходовой переключающий клапан отопление тепловым насосом / отопление водогрейным котлом; 7 - датчик для регистрации температуры в буферной емкости греющего контура (нижний); 8 - датчик температуры воды емкостного водонагревателя; 9 – емкостной нагреватель; 10 – 3 – ходовой переключающий клапан отопление / приготовление горячей воды; 11 – электронагреватель; 12 – циркуляционный насос греющего контура емкостного водонагревателя; 13 – 2-ходовой клапан; 15 – датчик

температуры воды емкостного водонагревателя; 17 – группа безопасности со сборкой предохранительных устройств; 18 – пластинчатый теплообменник; 19 – циркуляционный насос греющего контура емкостного водонагревателя; 20 – электропривод смесителя контура А; 21 - электропривод смесителя контура В; 22 – насос отопительного контура А; 23 - насос отопительного контура В; 24 – датчик температуры подачи контура А; 25 - датчик температуры подачи контура В; 26 – распределительный коллектор; 27 – перепускной клапан; 28 – ограничитель объемного расхода; 30 – датчик наружной температуры; А – отопительный контур; В – контур внутривольного отопления; С – водогрейный котел; KW – трубопровод холодной воды; VL – подающий трубопровод; RL – обратный трубопровод; WW – трубопровод горячей воды; Z – циркуляционный трубопровод.

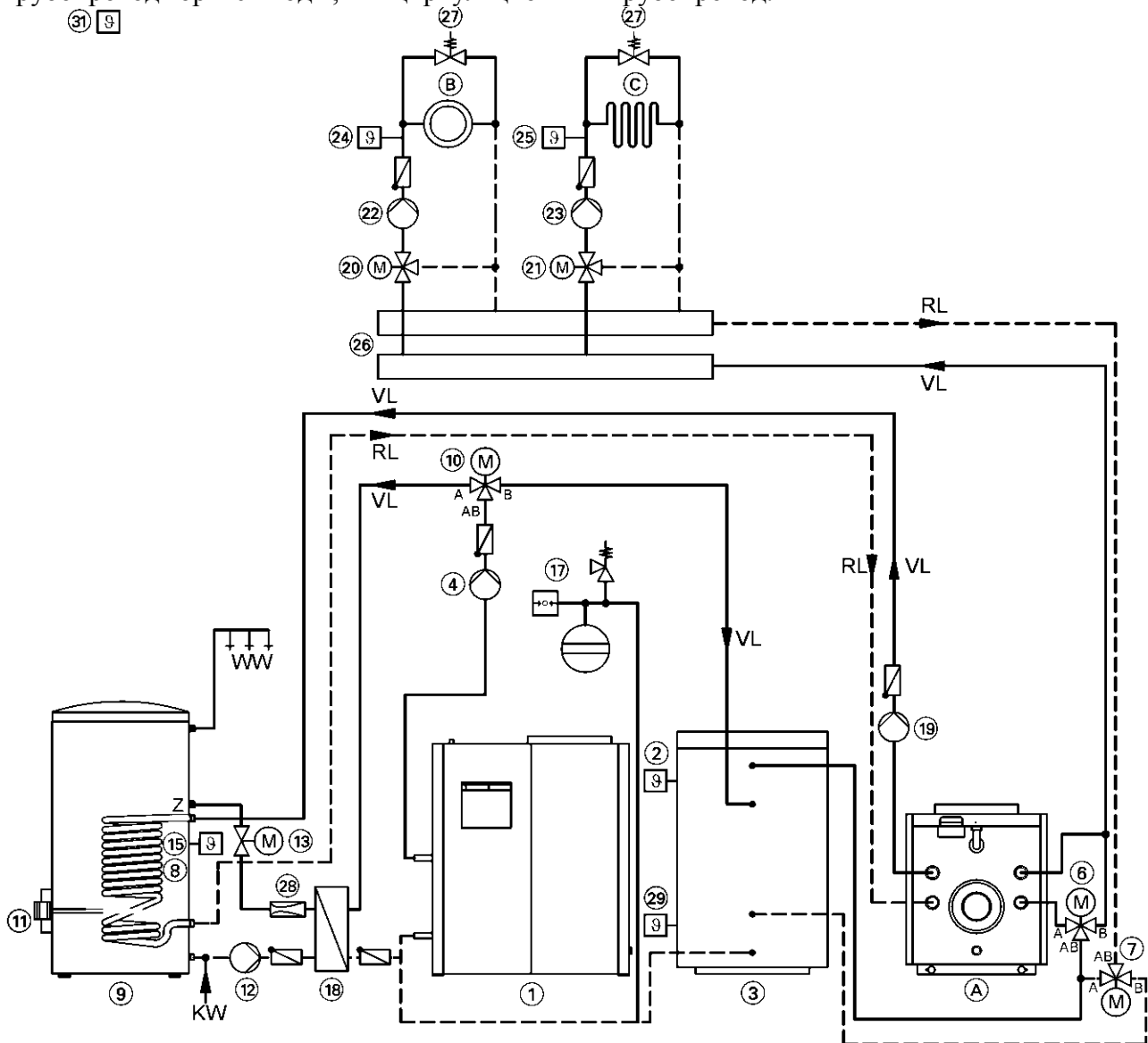


Рисунок 8 - Принципиальная схема теплоснабжения потребителя при бивалентно-альтернативном режиме эксплуатации ТН

1 – тепловой насос; 2 – датчик для регистрации температуры в буферной емкости греющего контура (верхний); 3 – буферная емкость греющего контура; 4 – циркуляционный насос подающей магистрали; 6,7 – 3-ходовой переключающий клапан отопление тепловым насосом / отопление водогрейным котлом; 8 - датчик температуры воды емкостного водонагревателя; 9 – емкостной нагреватель; 10 – 3-ходовой переключающий клапан отопление / приготовление горячей воды; 11 – электронагреватель; 12 – циркуляционный насос греющего контура емкостного водонагревателя; 13 – 2-ходовой клапан; 15 – датчик температуры воды емкостного водонагревателя; 17 – группа безопасности со сборкой



предохранительных устройств; 18 – пластинчатый теплообменник; 19 – циркуляционный насос греющего контура емкостного водонагревателя; 20 – электропривод смесителя контура В; 21 - электропривод смесителя контура С; 22 – насос отопительного контура В; 23 - насос отопительного контура С; 24 – датчик температуры подачи контура В; 25 - датчик температуры подачи контура С; 26 – распределительный коллектор; 27 – перепускной клапан; 28 – ограничитель объемного расхода; 29 - датчик для регистрации температуры в буферной емкости греющего контура (нижний); 31 – датчик наружной температуры; А – водогрейный котел; В – отопительный контур; С – контур внутривольного отопления; KW – трубопровод холодной воды; VL – подающий трубопровод; RL – обратный трубопровод; WW – трубопровод горячей воды; Z – циркуляционный трубопровод.

ТНУ работает следующим образом. В системе сбора низкопотенциального тепла (ССНТ) террикона циркуляционным насосом постоянно прокачивается теплоноситель, который нагревается, проходя через теплоприемники, расположенные в массиве террикона. Отдав тепло в испарителе теплового насоса, теплоноситель ССНТ вновь направляется к теплоприемникам. Полученное тепло, преобразовавшись в тепло более высокого потенциала, передается теплоносителю системы теплоснабжения потребителей, который, проходя через пластинчатый теплообменник системы охлаждения двигателя, подогревается до требуемой температуры. После чего высокотемпературный теплоноситель направляется в систему теплоснабжения потребителей. Необходимость снижения температуры обратного теплоносителя привела к решению установки промежуточного теплообменника на обратной линии, благодаря чему происходит снижение обратной температуры за счет нагрева питьевой воды, поступающей из хозяйственно-питьевого водопровода. Эта вода аккумулируется в низкотемпературном аккумуляторе, который по последовательной схеме подключен к среднетемпературному аккумулятору системы ГВС. Догрев воды до параметров системы ГВ производится отопительным теплоносителем, через теплообменник.

Теплонасосные установки без особых проблем могут быть применены в качестве основного источника тепла для систем горячего водоснабжения и обеспечивать круглосуточное бесперебойное снабжение потребителей горячей водой. Данная установка предусмотрена с электрическим приводом компрессора. При подключении такой установки к электросети необходима установка 3 – зонного тарифного счетчика, что позволит сократить период окупаемости.

Система сбора низкопотенциального тепла в этой схеме работает аналогично описанным выше установкам. В общем, схему можно разделить на 2 контура: первичный и вторичный. Для каждого контура предусмотрен свой ТН. Первичный контур состоит из низкотемпературных ТН, баков-аккумуляторов, в которых преимущественно в ночное время накапливается тепло и циркуляционного насоса контура. Когда температура в баке достигает требуемого значения, ТН первичного контура отключается. Нагретая вода подается к вторичному контуру, к каскаду бойлеров. В состав вторичного контура также входит ТН, через который замыкается их греющий контур. От бойлеров вода подается в систему горячего водоснабжения.

Таким образом на основе анализа возможных режимов эксплуатации автономных систем теплоснабжения; определяющих факторов при выборе (разработке) таких систем и анализа потенциальных потребителей тепла предложены принципиальные технологические схемы автономных систем теплоснабжения с теплонасосными установками, использующими тепло грунтов терриконов.

### **Список литературы**

1. Мартысевич У.В., Сокол Э.В., Максимова Н.В., Зольников И.Д. Пространственный анализ остаточных термических явлений в угольных отвалах на базе ГИС-технологий // Геоинформатика, 2004, № 3, с. 31-37.

2. Пирогенный метаморфизм / Э.В. Сокол, Н.В. Максимова, Е.Н. Нигматулина и др. (Ред. Г.Г. Лепезин). Новосибирск, Наука, 2005, 281 с.
3. Бутузов В.А. Перспективы применения тепловых насосов // Промышленная энергетика. - 2005. - № 10.
4. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / Под ред. В.И. Виссарионова. - М.: ООО «Фирма ВИЭН», 2004.
5. Патент В.Н. Москвичева, Ю.М. Петина. Использование тепловых насосов в опытной системе горячего водоснабжения жилой зоны пос. Термальный Камчатской области «Использование фреонов в энергетических установках». СО АН СССР. - С. 41-81.
6. VITOCAL 300/350. Установки с тепловыми насосами. Инструкция по проектированию. Viessmann Werke GmbH&Co KG. Москва, 2010, 128 с.

УДК 662.61:662.66

Лукиянов Александр Васильевич,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры ТТГВ;  
Бесараб Татьяна Юрьевна,  
магистрант гр. ЗТГВм-53;  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВУТ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ КАМЕННОМУ УГЛЮ

*Аннотация.* В работе рассматривается возможность использования водоугольного топлива (ВУТ), как альтернативу природному газу и нефтепродуктам.

*Проведен анализ приготовления и сжигания топлива. Исследовалось использование ВУТ для снижения экономических затрат, энергозатрат и выбросов продуктов сгорания в атмосферу. ВУТ является одним из эффективных заменителей угля и дорогих жидких топлив. Получают ВУТ из мокрых шламов и отходов обоганительных предприятий, не используемых в натуральном виде. Применение ВУТ в энергетике может дать существенный экономический эффект*

*Ключевые слова:* водоугольное топливо (ВУТ), энергоэффективность, вредные выбросы, экологический и экономический эффект, сжигание топлива, теплота сгорания

**Abstract.** The paper examines the possibility of using coal-water fuel (CWF) as an alternative to natural gas and oil products. An analysis of the preparation and combustion of fuel was carried out. The use of CWF was studied to reduce economic costs, energy costs and emissions of combustion products into the atmosphere. VUT is one of the effective substitutes for coal and expensive liquid fuels. CWF is obtained from wet sludge and waste from processing plants that are not used in their natural form. The use of VUT in the energy sector can provide a significant economic effect.

**Keywords:** coal-water fuel (CWF), energy efficiency, harmful emissions, environmental and economic effect, fuel combustion, calorific value.

С начала 60-х годов до конца 80-х XX века технологии водоугольного топлива (ВУТ) создавались с целью энергоэффективной и дешевой утилизации водоугольных шламов, представляющих собой побочные продукты при гидродобыче и гидротранспорте угля на углеобоготительных фабриках [1,2].

ВУТ представляет собой искусственную композиционную топливную систему (суспензию), которую можно перевозить в цистернах или перекачивать по трубопроводам. На сегодняшний день ВУТ может стать достойной альтернативой нефтепродуктам и каменному углю. Это связано с рядом значительных преимуществ ВУТ, как экологически чистого топлива по отношению к традиционным энергоносителям [3,4,5]:

- Снижение токсичных выбросов на всех этапах приготовления, сжигания, хранения и транспортировки ВУТ;
- Отсутствие опасности загрязнения почвы и водоемов;
- Взрывобезопасности и пожарная безопасность во всех технологических операциях (топливоподготовка, хранение, транспорт, разгрузка);
- Отсутствие сооружений и механизмов топливоподачи (угольные бункеры, конвейеры и т.д.);
- Снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании;
- Ограничение площади топливных складов ТЭС;

- Возможность использования трубопроводного транспорта.

При сжигании ВУТ вместо угля и мазута выбросы вредных оксидов азота снижается в 1,5 раза, оксидов углерода в 2 раза, а бензопирена в 5 раз.

Для оценки экологического и экономического эффекта применения ВУТ исследователями был проведен расчет и сравнение расхода топлива и количества загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании каменного угля и ВУТ [6].

Сравнение проводилось при следующих условиях: сжигание каменного угля происходило в котле КВр – 0,4 с номинальной производительностью 0,4 МВт/ч и КПД по техническим характеристикам равным 81%. Сжигание ВУТ производилось в котле с аналогичной теплопроизводительностью и КПД 85% (принято усредненным по опубликованным результатам ранее проведенных исследований). Исходные данные для расчета, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметры	Обозначение	Каменный уголь	ВУТ
Номинальная мощность котла, МВт/ч	$Q_{ном}$	0,4	0,4
КПД котла, %	$\eta$	81	85
Потери теплоты с химическим недожогом, %	$q_3$	2	0
Потери теплоты с физическим недожогом, %	$q_4$	7	0,7
Теплота сгорания топлива, ккал/кг	$Q_n^p$	5 453	4 112
Теплота сгорания топлива, МДж/кг		22,8	17,2

Расчет количества выбросов загрязняющих веществ, производился по методике расчета продуктов сгорания ВУТ [7].

Результаты расчета полученных величин приведены в таблице 2. Для наглядного представления результаты расчета представлены в виде диаграммы на рисунке 1.

Таблица 2 – Результаты расчета расхода топлива и количества выбросов загрязняющих веществ

Параметры	Обозначение	Каменный уголь	ВУТ	Снижение в %
Расход топлива на котел, кг/ч	$B$	90,6	114,4	-
Расход топлива на котел, г/с	$B$	25,2	31,8	-
Выбросы твердых частиц, г/с	$M_{ТВ}$	0,342	0,258	25
Выбросы оксидов серы, г/с	$M_{SO_2}$	0,136	0,115	15
Выбросы оксидов углерода, г/с	$M_{CO}$	1,07	0,0	100
Выбросы оксидов азота, г/с	$M_{NO_2}$	0,099	0,058	41

По данным, которые приведенные в таблице 2, можно сделать следующие выводы:

1. При использовании ВУТ потребность в топливе возрастает на 21% по сравнению с каменным углем из-за разницы теплоты сгорания;
2. Выбросы твердых частиц понижаются на 25%;
3. Выбросы оксидов серы снижаются на 15%;
4. Выбросы оксидов углерода при применении ВУТ отсутствуют;
5. Выбросы оксидов азота снижаются на 41%.

Несмотря на то, что теплота сгорания ВУТ ниже каменного угля, за счет более полного сгорания частиц угля в форме ВУТ общий расход топлива будет меньше на 10%. Это подтверждается следующим расчетом (таблица 3) [6].

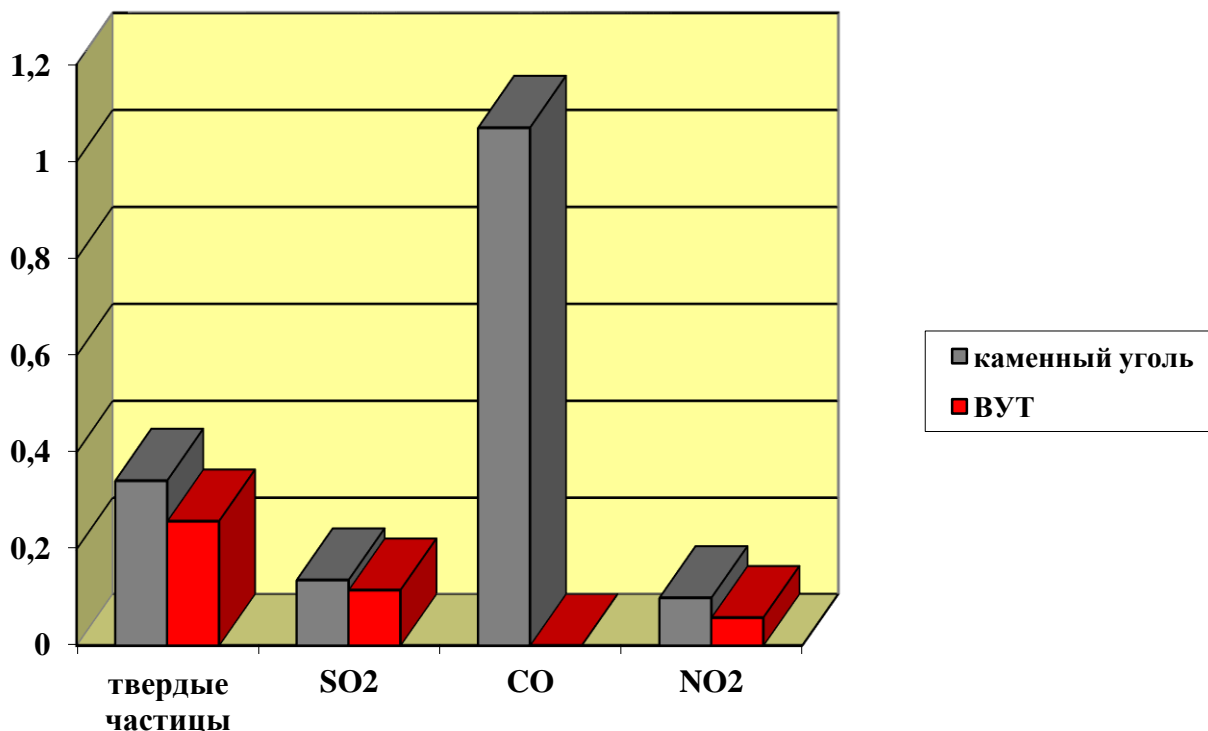


Рисунок 1- Выбросы продуктов сгорания при сжигании каменного угля и ВУТ

Таблица 3 – Экономический эффект использования ВУТ

Вид топлива	Требуемый расход по калорийности, кг/ч	Эффективность сгорания, %	Общий расход, кг/с
Каменный уголь (слоевое сжигание)	90,6	70	129,4
Водоугольное топливо	114,4	98	116,7

Еще один параметр, по которому велось сравнение процесса сжигания ВУТ и каменного угля – калориметрическая температура горения топлива. Максимальная температура, до которой нагреваются продукты горения, рассчитываемая без учета потерь тепла в окружающее пространство. Сравнение проводилось на основе следующих условий: температура обоих топлив подаваемых в котел, равняется температуре помещения и принята, равной 20°C. Температура вторичного воздуха для слоевого сжигания каменного угля принята равной 20°C, а для сжигания ВУТ данная температура зависит от режима работы котла и находится в диапазоне от 50 до 180 °C (таблица 4).

Таблица 4 – Исходные данные и результаты расчета калориметрической температуры горения

Вид топлива	Температура подаваемого топлива, °С	Температура подаваемого воздуха, °С	Температура горения, °С
Каменный уголь (слоевое сжигание)	20	20	1600
ВУТ	20	50	1130
		180	1200

По результатам расчета видно, что калориметрическая температура горения каменного угля при его слоевом сжигании на 25 – 29% выше, чем температура горения ВУТ, так как последнее содержит воду.

Таким образом, на основании проделанных расчетов и сравнений, получены следующие результаты (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты проведенных расчетов

Плюсы	Минусы
- общий расход топлива на котел меньше на 10% за счет более полного сгорания частиц угля в форме ВУТ;	- увеличение выбросов твердых частиц на 33%;
- снижение выбросов оксидов серы (на 15%) и оксидов азота (на 41%);	- калориметрическая температура горения ВУТ ниже, чем у каменного угля.
- отсутствие выбросов оксидов углерода.	

### Заключение

Приведенные данные могут быть основой при выборе наиболее перспективного способа сжигания угля – в твердом виде или в форме ВУТ.

Рассмотрены результаты немногочисленных работ современного состояния теоретических и экспериментальных исследований процессов сжигания и горения частиц ВУТ в типичных условиях топочного пространства.

Проанализированная общая теория методов расчета продуктов сгорания, оценки работы котлов за счет использования ВУТ, методов сжигания и разного приготовления ВУТ, показывают успешную реализацию использования ВУТ в системах теплоснабжения. Поскольку это топливо выгодно отличается высокой практичностью, стабильностью и экологичностью.

### Список литературы

1. Делягин Г.Н., Иванов В.М., Канторович Б.В. Пути эффективного сжигания обводненных топлив в виде диспергированных топливных систем и перспективы создания топливно-энергетического комплекса// Вопросы гидравлической добычи угля – 1968.
2. Дзюба Д.А., Коржов В.М., Мурко В.И. Результаты эксплуатации опытно-промышленной установки по приготовлению и сжиганию водоугольного топлива из угольных шламов в котельной шахты "Тырганская"// Энергосбережение и энергоэффективность экономики Кузбасса – 2005.

3. Фельдман В.Г. Автоматизация приема, хранения и сжигания водоугольной суспензии на Новосибирской ТЭЦ-5 // Трубопроводный гидротранспорт твердых материалов (Гидротранспорт-86) - ВНИИПИгидротрубопровод, 1986.
4. Ходаков Г.С. Водоугольная суспензия в энергетике.//Теплоэнергетика 2007.
5. Дорохова У.В., Саломатов В.В., Сыродой С.В. Перевод котлов малой мощности на водоугольное топливо // Ползуновский – 2013.
6. Филиппова Е. Н. Оценка эффективности применения водоугольного топлива в качестве альтернативы каменному углю. 2016
7. Володарский И.Х., Филиппов Г.А., Финягин А.И. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ при сжигании водоугольного топлива, 1990.

УДК 622.1:622.271

**Мухин Андрей Александрович**,  
кандидат биологических наук,  
доцент кафедры инженерных систем и экологии,  
**ГБОУ АО ВО «АГАСУ»;**  
**Харламова Анна Эдуардовна**,  
старший преподаватель кафедры  
пожарной безопасности и водопользования,  
**ГБОУ АО ВО «АГАСУ»**

## **АНАЛИЗ СОЛЕСОДЕРЖАНИЯ ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕХНОГЕННОЙ ПЛОЩАДКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В настоящее время большое внимание уделяется вопросам устранения негативных последствий, вызванных влиянием площадок сбора и хранения промышленных отходов, от их неправильной эксплуатации, последствий неправильного проектирования и строительства данных объектов, а также их влияния на окружающую среду и прилегающие территории, учитывая расположение сектора жилой застройки в непосредственной близости. Проведение мониторинга качества почвенного покрова территории, прилегающей к золошлакоотвалу, необходимо с целью оценки ее состояния и подтверждения стабильности экологического состояния участков территории.*

*Ключевые слова: золоотвал, экологический мониторинг, почвы, пруд-испаритель, солесодержание, грунты, сухой остаток.*

В 2017 году была произведена реконструкция существующих золошлакоотвалов Астраханской ГРЭС в пруды-испарители ПГУ - 110. Обвалованная и огражденная по периметру территория представляет собой два примерно равновеликих участка с разделительной дамбой.

Известно, что почва является компонентом окружающей среды и подлежит экологическому нормированию, необходимое для оценки ее санитарного состояния по химическим, бактериологическим, паразитологическим показателям. Важнейшим этапом почвенного экологического контроля является отбор проб [1].

При исследованиях загрязнения почвы техногенной площадки на обследуемой территории были намечены места пробоотбора (граница золоотвала (рис.1)) и отобраны единичные образцы.



Рисунок 1 - Места отбора единичных проб почвы (грунта) (образец №1, образец №2) исследуемой площадки



Согласно методическим рекомендациям [2] для отбора почвенных образцов №1, №2 использовались средства отбора и измерений, а также вспомогательные материалы (савок из нержавеющей стали, лопата (ГОСТ 19596-87), нож почвенный (ГОСТ 23707-95), линейка измерительная с ценой деления не более 1 см (ГОСТ 427-75). Почвы, грунты отбирают, транспортируют и хранят в соответствии с требованиями ГОСТ [3,4].

Объединенную пробу составляют путем смешивания 5 - 10 или 15 - 20 единичных проб почвы (грунта), отобранных в разных точках данной пробной площадки размером не менее 10×10 м (100 м<sup>2</sup>) (рис.1), которая располагается в типичном для данной территории месте (рис.2).



Рисунок 2 - Исследуемая площадка для отбора пробных образцов почвы

Для характеристики солевого состояния исследуемых почв был проведен анализ водной вытяжки (рис.3) с определением содержания токсичных солей в лаборатории химии учебного корпуса АГАСУ. Материалы: 1) весы технохимические или аналитические; 2) колбы на 500 мл; 3) воронки; 4) стеклянные палочки; 5) ступки; 6) сито с ячейкой 1 мм; 7) выпаривательные чашки; 8) водяная баня; 9) фильтры; 10) сушильный шкаф; 11) дистиллированная вода, не содержащая CO<sub>2</sub>.



Рисунок 3 - Взвешивание на электронных весах исходного образца почвы

Для приготовления водной вытяжки 50 г почвы переносят в широкогорлую склянку (рис.4), приливают пятикратный объем дистиллированной воды, объемом 250 мл. Склянку закрывают пробкой и взбалтывают 5 мин.



Рисунок 4 - Приготовление водной вытяжки

Далее вытяжку фильтруют через сухой складчатый фильтр, помещенный в воронку диаметром 15-20 см так, ниже края воронки на 0,5-1 см.



Рисунок 5 - Выпаривание водной вытяжки на водяной бане

Полностью отфильтрованную вытяжку, объемом 50 мл, помещают в фарфоровую выпаривательную чашку диаметром 7-10 см (предварительно высушенную и взвешенную) (рис.5). Выпаривают, постепенно добавляя новые порции вытяжки. По окончании выпаривания чашку с сухим остатком вытирают снаружи фильтровальной бумагой и высушивают в сушильном шкафу при 105 °С в течение трех часов, охлаждают, взвешивают (рис.6).



Рисунок 6 - Определение засоленности почв по сухому остатку

Масса почвы после высушивания в сушильном шкафу составила 37,78 г. На 50 мл объема водной вытяжки приходится 7,556 г. Масса солей по средневзвешенному значению весу чашки (36,95г-36,91г) составляет 0,04 г. Сухой остаток водной вытяжки дает представление об общем содержании в почве растворимых в воде органических и минеральных соединений. По величине сухого остатка была определена степень засоленности почв.

Сухой остаток солей в одном из анализируемых образцов составил:

$$\omega = \frac{0,04}{7,556} \cdot 100\% = 0,529\%$$

Содержание солей по данным водной вытяжки всех исследуемых техногенно-поверхностным образованиям группы артификарикатов подгруппы артииндустратов образцов грунтов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание солей по данным анализа водной вытяжки

№ выработки	Глубина, см	Σсолей, %	Ионы: числитель -%, знаменатель м-экв./100г.						Сумма токсичных солей
			HCO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> расч	
Техногенно-поверхностные образования группы артификарикатов подгруппы артииндустратов									
1	0-8	0,117	0,055	0,005	0,029	0,018	0,007	0,003	0,056
			0,90	0,14	0,60	0,90	0,58	0,13	
1	8-30	0,145	0,037	0,009	0,058	0,012	0,005	0,024	0,104
			0,61	0,25	1,21	0,60	0,41	1,04	
2	0-7	0,084	0,043	0,007	0,014	0,012	0,006	0,002	0,043
			0,70	0,20	0,29	0,60	0,49	0,09	
2	7-30	0,136	0,040	0,011	0,048	0,010	0,007	0,020	0,102
			0,66	0,31	1,00	0,50	0,58	0,87	
3	0-30	0,991	0,015	0,255	0,394	0,084	0,023	0,220	0,706
			0,25	7,19	8,20	4,19	1,89	9,57	
4	0-6	0,120	0,052	0,009	0,029	0,022	0,006	0,002	0,045
			0,85	0,25	0,60	1,10	0,49	0,09	
4	6-30	0,108	0,037	0,007	0,034	0,012	0,002	0,016	0,067
			0,61	0,20	0,71	0,60	0,16	0,70	

Из таблицы видно, что почвы засолены с поверхности, что позволило отнести их к солончаковой разновидности.

При формировании территории золоотвала, происходило неравномерное испарение вод, что также приводило к формированию зон повышенного содержания легкорастворимых солей на прилегающих территориях и образованию зон с аномально высокой степенью засоления почв. Необходимо проведение дальнейшего мониторинга качества почвенного покрова территории, прилегающей к техногенным площадкам, с целью оценки ее экологического состояния и подтверждения его стабильности после проведенной реконструкции.

### Список литературы

1. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
2. Методические рекомендации «Отбор проб почв, осадков биологических очистных сооружений, шламов промышленных сточных вод, донных отложений искусственно созданных водоемов, прудов – накопителей и гидротехнических сооружений. ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3.2-03. Москва, 2003.
3. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Метод отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

УДК 699.86

**Петреков Павел Васильевич**,  
кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой  
Теплогазоснабжение и вентиляция,  
процессы и аппараты химической технологии,  
**БТИ АлтГТУ;**  
**Руколеев Андрей Владимирович**,  
кандидат исторических наук,  
доцент кафедры  
Теплогазоснабжение и вентиляция,  
процессы и аппараты химической технологии,  
**БТИ АлтГТУ;**  
**Каньшин Артем Викторович**,  
студент группы С-01,  
**БТИ АлтГТУ**

### **ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**

*В данной статье рассмотрены особенности и основные проблемы и требования к эксплуатации, ремонту, повышению энергоэффективности зданий культурного наследия. Авторами рассмотрены существующие реставрационные практики уникальных зданий культурного наследия, и предложены подходы к решению повышения энергоэффективности зданий культурного наследия в городе Бийске.*

*Ключевые слова: энергоэффективность зданий, здания культурного наследия, микроклимат в помещении, системы отопления и вентиляции.*

Многие объекты культурного наследия нуждаются в реконструкции по причине физического износа и морального или повреждений. Сносить их не имеет смысла, так как многие такие здания имеют культурно-историческую ценность. Получается, что проводить реконструкцию необходимо таким образом, чтобы здания сохраняли свои технико-эксплуатационные характеристики исторических зданий в соответствии с нормативами для дальнейшей эксплуатации [1].

Расчет энергоэффективности здания, вентиляции, отопления и кондиционирования зданий культурного наследия следует по нормативно-техническим и нормативно-правовым документам. Также стоит учитывать, что все выше сказанные документы (СП, СанПиН и т.д.) можно полностью применять к современным зданиям, что в зданиях культурного наследия не является возможным. Есть несколько требований [2], связанных с этим, а именно:

- сохранение внутреннего интерьера здания;
- конструкций;
- объёмно-планировочных решений.

Данные требования вынуждают искать нестандартные решения.

Таким образом, каждый такой объект уникален и имеет свою особенность, что в свою очередь дает понять, что нельзя составить единый план по реконструкции зданий культурного наследия. Стоит учитывать, что вместо проектирования новых инженерных систем можно сделать следующие решения:

- существующие исторические системы могут быть эффективно использованы;

- динамическая нагрузка, создаваемая новыми инженерными системами, может повредить соприкасающимися с ними материалам и конструкции;
- воздействие увлажнения, создаваемого новыми системами, должно быть нейтрализовано;
- ограждающие конструкции здания должны обеспечивать стабильность внутреннего микроклимата, в условиях которого хранятся музейные коллекции.

В реставрационной практике зачастую проектируются локальные системы вентиляции. Это приводит к небольшому увеличению количества вентиляционных установок, но дает возможность избежать пробивки потолков, арок, ограждающих конструкций. В таком случае необходимо найти вариант системы, который максимально соответствует техническим требованиям и наносит минимальный ущерб историческому зданию и его интерьеру. Часто ограничиваются устройством только вытяжной вентиляции с неорганизованным потоком воздуха через негерметичные дверные и оконные проемы.

В качестве вентиляционных каналов необходимо использовать элементы старой конструкции, присутствующие в зданиях (печные и каминные трубы, воздушные каналы и др.), по возможности не только для вытяжки, но и для организации притока воздуха в помещение. При отсутствии на объекте культурного наследия элементов, которые могут быть использованы для вентиляции, то вытяжная шахта реализуется внутри помещения с выходом на чердак или крышу и только в исключительных случаях – в наружных стенах. Все эти возможности необходимо учитывать при определении назначения отдельных комнат. В памятниках архитектуры в большинстве случаев предусмотрена только естественная вентиляция, а специальные системы вентиляции не проектируются. Если в здании используется воздушное отопление, то система вентиляции рассчитывается совместно с отоплением [3].

Более подробно вопрос повышения энергоэффективности рассмотрим на примере объекта культурного наследия «Пассаж Второва» расположенного по адресу: г. Бийск, ул. Толстого, 144. Рассматриваемое здание 1905 года постройки, материал – кирпич.

Стоит учесть условие, что предполагаемая модернизация или реконструкция систем с целью повышения энергоэффективности здания должна проводиться без нарушения целостного восприятия интерьера и несущей способности основных строительных конструкций и ущерба зданию. Понятие комфортности в части температурно-влажностного микроклимата многогранно и формируется множеством факторов. Необходимым условием является возможность осуществлять все виды жизнедеятельности, в том числе и учебную, так как он является

Первые результаты исследований выявили проблемные места, основные из которых отсутствие в некоторых помещениях естественной вытяжной вентиляции. Уменьшение объема наружного воздуха за счет сокращения инфильтрации через пластиковые окна приводит к накоплению излишней влаги и увеличению влажности помещения выше нормальной, а также повышенные теплотери через окна и уменьшение внутренней температуры до 18–17 °С и ниже. Это связано с тем, что в 2000–2008 гг. старые окна на деревянных двойных переплетах были заменены на профиль из ПВХ стандартной ширины (50–70 мм). При этом как оказалось, не учитывалось, что ограждающие наружные стены имеют толщину от 700 до 1100 мм и при монтаже оконные проемы частично оказались в зоне отрицательных температур, из-за чего идет промерзание по глубине и, как следствие, увеличиваются теплотери помещения, которые не восполняют существующей двухтрубной системой отопления с верхней разводкой и чугунными радиаторами, так как они были рассчитаны на другие условия.

Хаотичная замена отдельных элементов системы отопления и установка насосного оборудования без предварительного расчета изменения гидравлического режима протекания

теплоносителя по всем стоякам. Стоит отметить, что физически и морально устарел тепловой пункт, который не обеспечивает постоянное качество отопления при минимальных затратах тепловой энергии и расходах теплоносителя. Однако для получения объективной картины работы системы отопления и вентиляции, создания комфортности учебно-административного корпуса исторической постройки недостаточно проведенных предварительных исследований.

К основным трудностям, которые возникают при обеспечении допустимых параметров температурно-влажностного режима воздушной среды в зимний период в «Пассаже Второва» можно отнести следующие:

- сложность (неоднозначность) проведения расчетов теплотехнических характеристик ограждающих конструкций из-за отсутствия точных сведений о свойствах старых материалов и структуре самих стен (регулярная кладка, тип кирпича, структура штукатурных слоев, защитных покрытий и др.);

- неодинаковая толщина наружных стен по высоте здания;

- невозможность улучшения теплотехнических свойств ограждений обычными строительными приёмами материалами (теплоизоляцией).

Этот список «неизвестных» при рассмотрении задач повышения энергоэффективности здания при более детальном обследовании значительно увеличится. Поэтому в настоящее время можно предложить два малозатратных подхода к решению этой проблемы.

1 Проведение инструментальной диагностики и использование методов неразрушающего контроля работоспособности систем отопления и вентиляции, экспериментального подбора мощностей и способа реконструкции систем отопления и вентиляции путем размещения временных нагревательных приборов (типа конвектора) с контролем и регистрацией параметров воздуха и влажности в помещении, а также проведение реконструкции теплового пункта на современный.

2 На основе результатов наблюдения за поведением инженерных систем в отопительный сезон составление дефектного акта по каждому узлу, разработка детального технического задания на реконструкцию с обязательным обсуждением среди экспертов-теплотехников, экспертов по оценке объектов недвижимости, реставраторов и собственника здания с целью поиска научно обоснованного решения проектного решения по реконструкции инженерных систем.

Необходимо отметить, что дальнейший этап работ будет заключаться в проведении тепловизионной съемки в зимний период времени, особенно в период, наиболее холодной пятидневки (-37 °С для города Бийск), и определении характера теплопотерь через все ограждающие конструкции здания для того, чтобы принять грамотные решения по реконструкции инженерных систем.

### **Список литературы**

1. Постановление Правительства РФ от 28.01.2022 N 67 (ред. от 28.01.2022) «О лицензировании деятельности по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_408291](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_408291)
2. Федеральный закон от 25.06.2002 N 73-ФЗ (ред. от 19.10.2023) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37318](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318)
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525>

УДК 620.91

**Валуев Никита Русланович,**

студент 4 курса кафедры

«Техносферная безопасность»,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Сердюк Александр Иванович,**

д.х.н., профессор, профессор кафедры

«Техносферная безопасность»,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛА ПУТЕМ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

*Показано, что одним из распространенных в мире методов утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) является их использование в качестве ежедневно возобновляемого местного топлива, низшая теплота сгорания которого колеблется от 5 МДж/кг до 16,5 МДж/кг. Но, при сжигании ТКО в атмосферу выделяется более 250 видов высокотоксичных веществ. Частично эта проблема решается при отдельном сборе отходов и их использовании, а также, при проведении процесса при температуре не ниже 1000°С.*

*Ключевые слова: возобновляемое местное топливо, теплота сгорания, выбросы, диоксины, отдельный сбор отходов*

Твердые коммунальные отходы (ТКО): это самый распространенный смысл в контексте управления отходами. ТКО включают в себя разнообразные отходы, такие как бытовые отходы, строительные материалы, промышленные отходы и другие твердые отходы, образующиеся в результате жизнедеятельности общества.

По данным Минприроды на 2021 год, ежегодно в России образуется около 70 млн тонн смешанных твердых коммунальных отходов IV и V класса опасности. Каждый год «выработка» растёт на 3 %, а за двадцать лет производство ТКО выросло вдвое. Росприроднадзор связывает рост количества мусора с активным использованием упаковочных материалов: полиэтилена, пластика, бумаги. На среднестатистического россиянина приходится в год около двух кубометров мусора или примерно 400 кг.

В 2021 году «Коммерсантъ» на примере московского бытового мусора приводил статистику по составу ТКО: пищевые отходы - 22 %, бумага и картон - 17 %, стекло - 16 %, пластик - 13 %, отсев (ветки, листья и т. п.) - 10 %, текстиль - 3 %, строительные отходы - 3 %, чёрный и цветной металлолом - 2 %, кожа и резина - 1 %, прочее - 13 %. До 700 тысяч тонн органического мусора, по данным Ассоциации компаний розничной торговли, являются «просрочкой» из магазинов, которую из-за налогового режима ретейлерам дешевле уничтожать, чем раздавать.

В настоящее время во всем мире практикуется в той или иной степени промышленная переработка твердых бытовых отходов (ТБО) и части промышленных отходов, по своим характеристикам идентичным бытовым. Среди многообразия способов переработки (сортировка с выделением из отходов коммерческих составляющих; получение компоста как сельскохозяйственного удобрения и т.п.) наиболее рациональным и распространенным в мире методом является использование ТБО в качестве ежедневно возобновляемого местного топлива, низшая теплота сгорания ( $Q_{рн}$ ) которого колеблется в настоящее время от 5 МДж/кг (1200 ккал/кг) до 16,5 МДж/кг (3950 ккал/кг). Эта теплота сгорания сопоставима с  $Q_{рн}$  торфа, сланцев, подмосковного бурого угля, бурых углей Березовского бассейна. Она зависит от ряда показателей, и в частности от влажности  $W_p$  и зольности  $A_p$ . Наивысшие значения  $Q_{рн}$  относятся к топливу, специально подготовленному из отходов ( $Q_{рн} = 16,5$  МДж/кг) [1].

В наше время проблема утилизации ТКО играет большую роль, она связана с множеством проблем, таких как:

Переполненные свалки и мусорные полигоны: во многих регионах проблемой является быстрое наполнение свалок и полигонов, что приводит к необходимости открывать новые места для обращения с отходами, что может быть экологически вредным, а также разложение органических веществ в отходах может вызвать неприятные запахи и служить источником различных инфекций и заболеваний, что представляет риск для здоровья людей и животных, проживающих в окрестностях.

При горении ТКО образуются тяжёлые металлы (ртуть, свинец, кадмий) и диоксины, которые попадают в атмосферу с отходящими газами. Многие из этих веществ токсичны, не разлагаются и могут накапливаться в организме человека. Некоторые вызывают онкологические заболевания и разрушают гормональную систему человека. Новообразования, проблемы с репродуктивной функцией и работой лёгких, гипертония - лишь часть из возможных проблем, с которыми мы можем столкнуться при соседстве с котельными, сжигающими отходы [2].

Раздельный сбор и низкий уровень переработки: недостаточный уровень раздельного сбора отходов и их низкая переработка могут существенно уменьшить эффективность управления ТКО и влиять на возможности повторного использования ресурсов. Разделение отходов и увеличение уровня переработки может быть решено с помощью следующих мер:

Информирование общественности: просвещение людей о важности разделения отходов и переработки. Это поможет повысить осведомленность населения и создать общественное давление на соответствующие органы.

Стимулирование переработки: введение налоговых льгот или субсидий для компаний, которые перерабатывают отходы. Это может сделать переработку более привлекательной для бизнеса. Создание инфраструктуры для переработки: строительство перерабатывающих заводов и установка большего количества контейнеров для раздельного сбора мусора.

Обучение работников сферы утилизации: повышение квалификации работников, занимающихся сбором и переработкой отходов.

Развитие технологии: разработка и внедрение новых технологий, которые могут улучшить процесс разделения отходов и повысить эффективность переработки.

Поддержка со стороны правительства: принятие законодательства, которое будет стимулировать раздельный сбор и переработку мусора. Это может включать в себя введение штрафов за несоблюдение правил разделения отходов. Сотрудничество с частным сектором: привлечение частного сектора к решению проблемы раздельного сбора и переработки мусора. Компании могут инвестировать в разработку новых технологий и улучшение инфраструктуры. Вовлечение местных сообществ: организация мероприятий и акций по раздельному сбору мусора, которые привлекают внимание местного сообщества.

Проблемы сортировки и контроля качества: в процессе переработки ТКО могут возникать сложности с сортировкой материалов и контролем за качеством, что влияет на возможность их дальнейшего использования.

Эту проблему можно решить следующими способами:

- Улучшение инфраструктуры: создание большего количества пунктов приема вторсырья и обеспечение их доступности для населения может облегчить процесс сортировки и контроля качества.
- Обучение и повышение квалификации работников: обучение сотрудников, занимающихся сортировкой и контролем качества вторсырья, может улучшить их навыки и повысить эффективность работы.
- Внедрение новых технологий: разработка и использование новых технологий для автоматизации процесса сортировки и контроля качества вторсырья может значительно сократить время и затраты на эти процессы.
- Сотрудничество с частным сектором: привлечение частных инвесторов и компаний для финансирования проектов по улучшению инфраструктуры,



обучению персонала и внедрению новых технологий может способствовать решению этих проблем.

- Принятие законодательства: разработка и принятие законодательства, регулирующего процессы сортировки и контроля качества вторсырья, может способствовать повышению качества и эффективности этих процессов.

Экологические и здоровьесберегающие риски: неконтролируемая утилизация и обезвреживание ТКО может привести к выделению токсичных веществ, загрязнению почвы и воды, а также повышению риска для здоровья человека и животных. Чтобы уменьшить такие риски для экологии и здоровья населения требуется осуществлять строгий контроль за соблюдением экологических норм и правил утилизации отходов, так же разрабатывать и внедрять эффективные методы утилизации и обезвреживания ТКО [3].

При сжигании мусора в атмосферу выделяется более 250 видов высокотоксичных веществ (азот, аммиак, бензол, монооксид углерода, фенол, формальдегид, тяжелые металлы (свинец, кадмий, хром). Чтобы их очистить применяются дорогостоящие системы очистки (до 10 ступеней), но все равно не удается полностью убрать все вредные вещества из выбросов.

Сжигание ТКО приводит к образованию более опасных отходов по сравнению с исходным мусором. Особенно это относится к летучей золе и шлаку, содержащих диоксины - одни из самых страшных ядов. Утилизация золы и шлака является серьезной проблемой для мусоросжигательных заводов (МСЗ). Действующие МСЗ размещают их на полигонах, отравляя окружающую среду.

Диоксины являются загрязнителями окружающей среды. Они входят в состав так называемой «грязной дюжины» – группы опасных химических веществ, известных как стойкие органические загрязнители (СОЗ). Диоксины вызывают особое беспокойство в связи с их высоким токсическим потенциалом. Эксперименты показывают, что они воздействуют сразу на несколько органов и систем.

Попав в организм человека, диоксины долгое время сохраняются в нем благодаря своей химической устойчивости и способности поглощаться жировыми тканями, в которых они затем откладываются. Период полураспада диоксинов в организме оценивается на уровне 7–11 лет. В окружающей среде диоксины имеют тенденцию накапливаться в пищевой цепи. Концентрация диоксинов выше в организмах животных, стоящих на более высоких уровнях пищевой цепи.

Химическое название диоксина – 2,3,7,8- тетрахлородибензопарадиоксин (ТХДД). Название «диоксины» часто используется для семейства структурно и химически схожих полихлорированных дибензопарадиоксинов (ПХДД) и полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ). В понятие «диоксины» также включаются некоторые диоксиноподобные полихлорированные бифенилы (ПХБ) с похожими токсическими свойствами. Выявлено 419 типов относящихся к диоксинам соединений, но лишь 30 из них имеют значительную токсичность, а самыми токсичными являются ТХДД.

Кратковременное воздействие высоких концентраций диоксинов на организм человека может привести к патологическим изменениям кожи, таким как хлоракне и очаговое потемнение, а также изменениям функции печени. Длительное воздействие приводит к поражению иммунной системы, нервной системы формирующегося организма, эндокринной системы и репродуктивных функций.

У животных в результате хронического воздействия диоксинов развиваются некоторые типы рака. В 1997 и 2012 гг. Международное агентство ВОЗ по изучению рака (МАИР) провело оценку воздействия ТХДД. На основе эпидемиологических данных о животных и человеческих популяциях ТХДД был отнесен МАИР к веществам с установленным канцерогенным воздействием на организм человека. ТХДД, однако, не оказывает воздействия на генетический материал, и на определенном уровне экспозиции к нему риск развития рака пренебрежимо мал.

В целом снижение образования диоксинов достигается осуществлением достаточно широкой группы технологических мероприятий на МСЗ, основными из которых являются:

1) Предварительная сепарация хлор- и бромсодержащих материалов, изъятие из ТБО включений цветных металлов;

2) Поддержание процессов горения, обеспечивающих минимальное образование ПНС и золоуноса;

3) Самым эффективным методом предупреждения и ограничения воздействия диоксинов является надлежащее сжигание загрязненных ими материалов. Этот метод позволяет, в частности, уничтожать отработанные масла на основе ПХБ. В процессе сжигания должна обеспечиваться температура горения свыше 850°C. Для уничтожения большого количества загрязненных материалов требуется температура не ниже 1000°C.

Мусоросжигание является самым дорогостоящим способом обработки коммунальных отходов. Если мусоросжигательные заводы будут построены, корпорация "Ростех" получит прибыль, а жители Московской области будут оплачивать повышенные тарифы за утилизацию коммунальных отходов [4]. Но, с другой стороны, это дополнительный источник тепловой энергии.

### Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. — Москва: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2022. — 684 с. Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/)

2. Валинеева, А. А., Степанова, Т. А. RDF как альтернативный источник энергии / А. А. Валинеева, Т. А. Степанова. — Текст: электронный // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». — 2020. — №3. Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6377](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6377)

3. Технологический стандарт ППК РЭО «Обращение с твердыми коммунальными отходами. Методы и технологии подготовки альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов». - 2021. -117 с.

4. Тугов, А.Н. ТЭС на ТКО – ключевое решение для России / А.Н.Тугов. – Текст : непосредственный // Твердые бытовые отходы. - 2015. - №8.- С.28-34. — URL: <https://rucont.ru/efd/589403>

УДК 620.97 (075.8)

**Косарева Яна Владимировна,**

магистрант 1 курса кафедры

«Техносферная безопасность»,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Сердюк Александр Иванович,**

д.х.н., профессор, профессор кафедры

«Техносферная безопасность»,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ И АГРОПЕЛЛЕТ В КАЧЕСТВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БОЛЕЕ ЧИСТЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА**

*Рассмотрены основные виды возобновляемого топлива для получения энергии, в частности – древесные гранулы (пеллеты). Показаны преимущества древесных и агропеллет по сравнению с другими видами твердого топлива с точки зрения получения тепла и меньшего загрязнения окружающей среды диоксидом серы. Проведен обзор мирового опыта и опыта Российской Федерации в использовании возобновляемых источников энергии.*

*Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, альтернативная энергетика, древесные и агропеллеты, диоксид серы*

В связи с высоким ростом цен на традиционные энергоносители, такие как газ или мазут, коммунальные и производственные предприятия все чаще прибегают к использованию твердотопливных котлов и сжиганию в них местных видов возобновляемого топлива для получения энергии. К таким видам возобновляемого топлива относятся:

- древесные отходы (кора, щепа, опилки, опил, рейка и т.п.);
- сельскохозяйственные отходы (солома, лузга подсолнечника, гречихи, проса);
- торф и торфоугольные брикеты;
- твердые коммунальные отходы.

Бытует мнение, что использование вышеперечисленных видов топлива является экономически неоправданным – стоимость тепловой энергии, полученной при использовании природного газа значительно ниже по сравнению с альтернативными источниками твердого топлива, при заготовке подобных отходов используется ручной труд, сжигание твердого топлива приводит к загрязнению атмосферного воздуха. Эти возражения, несомненно, справедливы, однако, на данный момент существует множество методов, способных снизить негативные стороны использования возобновляемых источников энергии.

В данной работе рассматривается один из распространенных видов альтернативного возобновляемого топлива – древесные гранулы (пеллеты), полученные из отходов деревьев (пеллеты древесные) и сельскохозяйственных растений (агропеллеты).

Заготовка и переработка дерева часто сопровождается большими потерями, около 50% всей перерабатываемой древесины составляют отходы, большая часть которых сжигается на месте или вывозится в отвал. Эти отходы являются ценным сырьем для производства древесных пеллет.

При сравнении такого вида топлива с другими (дрова, ископаемое топливо), можно отметить несколько преимуществ, таких как:

- высокое КПД сгорания, сопоставимое с КПД природного газа и каменного угля (95%);
- после сжигания древесных гранул остается малое количество золы (около 1-3% от общей массы топлива);
- высокая экологичность данного вида топлива (выделяется меньше CO<sub>2</sub>, чем потребляется растениями в процессе из жизнедеятельности – не создает парникового эффекта);

- удобство и компактность (стандартный размер пеллет прост и удобен при использовании и транспортировке) [1];
- отсутствие неприятного запаха и выделения серы (при сгорании пеллет выделяется меньше серы, чем при сгорании такой же массы каменного угля);
- минимальная влажность (влажность древесных пеллет составляет всего около 8%, вследствие этого – высокая теплотворность в 5100 ккал/кг);
- высокая плотность (пеллеты горят дольше в 2-3 раза, чем древесный уголь) [2].

Сравнение показателей пеллет с другими видами твердого топлива представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение пеллет с другими видами топлива

№ п/п	Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	% золы	% серы	% диоксида серы	% SO <sub>2</sub> /G (МДж/кг)
1	Каменный уголь	15-25	10-35	1-5	2-10	0,30
2	Бурый уголь	14-22	10-35	1-5	2-10	0,33
3	Пеллеты древесные	18,4	0,7-2,5	0,1	0,2	0,01
4	Агропеллеты	15	2,5-3,0	0,1	0,2	0,01
5	Пеллеты торфяные	18	6	0,7	1,4	0,08
6	Торфобрикеты	14,9	23	1-3	2-6	0,27

Стоит отметить, что все выше приведенные пеллеты содержат в своем составе значительно меньше серы, чем каменный и бурый угли (в 1,5 – 50 раз). При сгорании серосодержащего топлива преобладающая часть серы выделяется в атмосферу в виде диоксида серы, и только незначительная часть серы уходит в золу в виде сульфатов. Рассматривая удельный выход диоксида серы, приходящийся на 1 МДж выделившегося тепла (G) на кг топлива (% SO<sub>2</sub>/G (МДж/кг)), видно, что при сгорании угля выделяется в 300 раз больше диоксида серы, чем при сгорании пеллет древесных и агропеллет, то есть происходит существенное закисление окружающей среды.

Следует отметить, что в качестве возобновляемых источников энергии могут быть использованы непригодные для пищевого использования продукты питания (Таблица 2), содержащиеся в твердых коммунальных отходах, и имеющие высокую удельную теплоту сгорания.

Таблица 2 - Удельная теплота сгорания (МДж/кг) некоторых пищевых продуктов

№ п/п	Продукт	(МДж/кг)
1	Батоны простые	10,5
2	Хлеб пшеничный	8,9
3	Хлеб ржаной	8,6
4	Говядина	7,5
5	Масло сливочное	32,7
6	Сахар	17,1

Экономически развитые страны давно взяли курс на использование возобновляемых источников энергии. Европейский союз в рамках концепции «климатической реальности» к 2050 году планирует построение низкоуглеродной энергетики. В основу их политики

заложено создание благоприятных условий для частных инвестиций в отрасль биоэнергетики, базирующейся на замене угля на древесную биомассу. Также предоставляется долгосрочное льготное кредитование для реализации проектов в области производства пеллет и строительства электро- и теплоэлектростанций на основе биотоплива.

Правительство США стимулирует строительство заводов по производству пеллет, используя при этом правительственные программы по повышению интенсивности лесного хозяйства и субсидии на переработку древесины.

Китай, в свою очередь, приступил к реализации государственной программы, в ходе которой на плантациях выращиваются быстрорастущие энергетически выгодные породы древесины для дальнейшей переработки в биотопливо.

Производство древесного биотоплива в России началось в 2009 году. В последнее время очень активно распространено строительство новых мощностей производства древесных гранул [3].

Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что использование альтернативных возобновляемых источников энергии на территории Донецкой Народной Республики имеет большие предпосылки к развитию.

Этот вид топлива очень удобен и прост в использовании, не требует больших затрат, так как оно изготавливается из остатков деревообрабатывающих и сельскохозяйственных производств, а его показатели намного превышают такие же для каменного угля, который на данный момент повсеместно используется для получения энергии.

Однако, стоит учитывать то, что любым альтернативным источникам энергии приходится конкурировать с апробированными способами теплоснабжения. Для полного перехода на данный вид биотоплива необходимы инвестиции в переоборудование топливных систем для производственных и коммунальных предприятий.

Но есть и другой выход из сложной ситуации – комбинирование древесных гранул с каменным углем при производстве энергии. Данные условия уже позволяют существенно снизить нагрузку на окружающую среду и увеличить показатели теплообразования, при этом переоборудование предприятий не требуется.

### **Список литературы**

1. Пташкина-Гирина, О.С. Перспективы использования древесных пеллет в теплогенерации / О.С. Пташкина-Гирина, О.А. Гусева, О.С. Волкова – Текст : непосредственный // Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции "Энергетика и энергосбережение: теория и практика" (16-17 декабря 2020) / ЮУрГАУ. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2020. – С. 136-1-136-4. – EDN UOGSAD.

2. Стрюков, Н.С. Бизнес-план производства прессованных топливных брикетов и пеллет (научно-практическое исследование) / Н.С. Стрюков – Текст : непосредственный // Материалы Международной очно-заочной олимпиады студенческих научных проектов «Путь в науку. Современная национальная экономика: молодые ученые – новый взгляд», под общ. ред. Е.П. Лидинфа (13-14 апреля 2020) / ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». – Орел : Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, 2020. – С. 203-215. – EDN FODDTI.

3. Кархова, С.А. Оценка тенденций мирового рынка древесных пеллет и перспектива Российской Федерации на данном рынке / С.А. Кархова – Текст : непосредственный // Baikal Research Journal. – 2022. – Т. 13. - №3. – С.1-15. - DOI 10.17150/2411-6262.2022.13(3).23. – EDN LDQBBS.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

*Аннотация.* В статье проведен анализ мероприятий двух этапов ресурсно-инновационной политики, рассмотрены основные цели научных разработок в направлении инновационных технологий, проанализированы инновационные технологии в газотранспортной системе РФ; дана функциональная схема поэтапного менеджмента осуществления инновационных проектов в газовой промышленности.

*Ключевые слова:* энергосбережение, инновационная политика, газотранспортная система, ресурсно-инновационной политики

Сегодня в газовой промышленности есть несколько проблем, которые обуславливают повышение объема потребляемых ресурсов.

Преимущественная динамика совершенствования газовой промышленности в нашей стране основана на реализации ресурсно-инновационной политики. В связи с тем, что существующие отечественные подходы создания месторождений, добычи и потребления газа по оценкам ресурсо- и энергопотребления значительно проигрывают импортным техническим решениям [1].

Реализация стратегии модернизации транспортной системы газа предусматривается в два этапа. На первом этапе модернизации, который осуществлялся с 2011 по 2013 год, решалась задача повышения восприимчивости экономики и бизнеса к инновациям при помощи следующих мероприятий:

- 1 Увеличение инвестиционной привлекательности высокотехнологичных секторов экономики.
- 2 Содействие процессу перетока капитала, а также привлечение квалифицированных кадров в высокотехнологичные сектора при помощи реализации мер налогового, тарифного и других видов государственного регулирования и финансовой поддержки.
- 3 Модернизация секторов экономики, в которых отсутствует краткосрочная перспектива для достижения мирового лидерства.
- 4 Стимулирование инновационной деятельности компаний с участием государства.
- 5 Устранение в системе государственного регулирования газовой отрасли барьеров, которые препятствуют инновационной активности.
- 6 Нарращивание финансирования компаний, занимающихся деятельностью в области инноваций.
- 7 Поддержка малого бизнеса в регионах.

На втором этапе модернизации, который продолжается с 2014 года доля расходов на инновационные технологии в области транспорта природного газа постоянно растет. На основе заделов, которых удалось достичь во время проведения мероприятий первого этапа модернизации сейчас проводится масштабное перевооружение газового сектора.

По уровню технологий российская газотранспортная система уже показывает результаты выше, чем в некоторых развитых странах. Особое внимание уделено достройке объектов инновационной инфраструктуры. На втором этапе стратегии по модернизации газотранспортной системы в Российской Федерации предполагается сформировать работоспособную и целостную национальную инновационную систему, которая будет

постепенно расширяться согласно спросу на инновационную со стороны сектором экономики, обеспечивающие инновационную поддержку инновационной активности на абсолютно всех этапах инновационного цикла.

Энергосберегающие инновации в газовой промышленности могут значительно уменьшить нагрузку на государственный и федеральный бюджеты, приостановить повышение тарифов, усилить конкурентоспособность экономики, увеличить предложения на рынке труда. На рисунке 1 указана диаграмма средних расходов компаний РФ на энергоресурсы.



Рисунок 1 - Диаграмма средних расходов компаний РФ на энергоресурсы

Научные и проектные наработки по энергосберегающим инновациям данных систем сосредотачиваются на осуществлении следующих целей:

- подбор и аргументирование вариантов расходования углеводородного сырья на предполагаемых создаваемых месторождениях, с учетом инфраструктуры местности;
- рост процента эксплуатации попутного нефтяного газа, снижение затрат легких жидких углеводородов;
- внедрение новейших технологий и подходов в рамках сбора и заготовки продукции газовых месторождений;
- целесообразное и экономичное расходование энергоресурсов в технологии производства подобно рециркуляции вторичных отходов и ликвидации производственных остатков;
- внедрение системного сохранения газопромыслового оборудования и грубопроводных систем от коррозии;
- оказание гарантированной безвредной эксплуатации промышленных конструкций и установок [4].

Рассмотрим инновационные технологии в газотранспортной системе Российской Федерации.

К мероприятиям, которые уже проведены или постепенно проводятся, с целью внедрения инновационных технологий в газотранспортную систему Российской Федерации можно отнести:

1 Создание технических средств и технологий для реконструкции, эксплуатации и строительства объектов газотранспортной системы с оптимальными показателями транспорта газа, а также устойчивостью по отношению к воздействию технологических факторов и естественных нагрузок.

2 Внедрение импортозамещающих технологий и материалов, которые обеспечивают увеличение эксплуатационных характеристик газотранспортного оборудования и параметров труб.

3 Развитие технологий совершенствование оборудования, которые обеспечивают должную надежность оборудования.

4 Разработка средств и методов эффективного диспетчерского управления единой системой газоснабжения.

5 Развитие технических средств и технологий транспортировки сжиженных и жидких углеводородов.

6 Разработка новых технологий и средств геологической разведки, сооружения и эксплуатации подземных хранилищ природного газа, а также жидких углеводородов в пористых средах, отложениях каменной соли и многолетнемерзлых горных породах.

Лидером по внедрению инновационных технологий на территории Российской Федерации является ПАО «Газпром».

Им активно внедряются новые технологии при строительстве стратегически важного магистрального газопровода Бованенково - Ухта, который эксплуатируется в сложных природно-климатических и грунтово-геологических условиях, а также в режиме сезонной доступности. При строительстве магистрального газопровода «Сила Сибири» используются уникальные технологии и оборудование, которые были разработаны в рамках программы НИОКР ПАО «Газпром».

Одним из инновационных аппаратов, используемых на этом газопроводе, является автоматизированный мобильный комплекс для радиоскопического контроля сварных швов для труб, диаметр которых находится в диапазоне от 1020 до 1420 миллиметров. Также на место рождениях компании используется интеллектуальная система мониторинга катодной защиты газопроводов, при помощи которой можно снижать потребление электрической энергии, а также управлять защитным потенциалом.

Инновационная технология капитального ремонта газоперекачивающих агрегатов, позволяет продлить их ресурс, что способствует сокращению капитальных затрат на замену агрегатов. Использование мобильных компрессорных установок позволяет стравливание в атмосферу газа.

Прорывом во внедрении инновационных технологий можно считать способ транспортировки газа в адсорбированном состоянии. Преимуществами такого метода являются возможность транспортировки большого объема газа при меньшем давлении, а также обеспечение высокой степени пожаробезопасности.

Совершенствование технологий по снижению текущих затрат на всех операциях при добыче и транспортировке газа повышает экономическую эффективность деятельности субъектов хозяйствования отрасли. Система охлаждения газа с использованием аппаратов воздушного охлаждения (АВО) на компрессорных станциях позволяет уменьшить энергоемкость магистральных газопроводов.

В последние годы доля работающих отечественных АВО увеличилась с 68 % в 2013 году до 75 % в 2021 году. Доля импортных АВО в поставках нового оборудования в 2021 году составляла всего лишь 3 % [5]. С учетом прогнозов развития газовой отрасли потребность в этом оборудовании с годами будет увеличиваться. Поэтому появление АВО нового поколения российских производителей позволит снизить энергопотребление и избежать зависимости от импорта.

Основным видом энергии, используемой в системе газоснабжения, является электрическая энергия. Это связано с тем, что при переработке, транспортировке, хранении и распределении природного газа используется различное промышленное оборудование, оснащенное электродвигателями.

При непрерывной работе одного аппарата воздушного охлаждения газа эти значения рассчитываются по формуле [6]

$$A_3 = K_p \times NB \times T_b, \quad (1)$$

где  $A_3$  - затраты электроэнергии на охлаждение газа. МВт-ч;

$K_p$  - количество работающих вентиляторов на всех АВО;



NВ - мощность, потребляемая одним электродвигателем, вращающим вентилятор, кВт:

Tв - время работы вентиляторов, ч.

В соответствии с концепцией энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «Газпром» на период 2011-2020 гг. один из приоритетов энергосберегающей политики общества состоит в использовании инновационных энергосберегающих технологий в энергетических проектах по добыче и транспортировке газа.

Транспортировка газа осуществляется газоперекачивающими агрегатами (ГПА) линейных компрессорных станций. Наибольшее применение для перекачки газа находят ГПА с мощностью 16 МВт в разных модификациях.

Основными технологическими блоками линейных компрессорных станций служат: блок очистки газа; блок ГПА (чаще 5 ед., один из которых - резервный); блок утилизации остаточной теплоты ГПА для нужд теплоснабжения и блок охлаждения транспортируемого газа.

Каждый ГПА состоит, как правило, из компрессора низкого давления (КНД), компрессора высокого давления (КВД), газовой турбины высокого давления (ТВД), газовой турбины низкого давления, или силовой турбины (СТ), и центробежного нагнетателя (ЦН). Газоперекачивающий агрегат энергетически сбалансирован таким образом, что обеспечивает как собственные энергетические мощности, затраченные на сжатие, так и транспорт газа.

Общее энергообеспечение промышленной площадки линейных компрессорных станций, кроме ГПА, может обеспечиваться дополнительными электрическими мощностями из централизованных или собственных источников.

Таким образом один из путей повышения энергоэффективности систем газоснабжения заключается в разработке инновационных технических решений (технологических схем), обеспечивающих повышение показателей энергоэффективности транспортировки газа ГПА линейных компрессорных станций на основе multifunctionальных установок с высоким термодинамическим КПД и представлении интегральных показателей этих решений. Сами технологические схемы обладают признаками патентоспособности. К multifunctionальным установкам относятся, в частности, все системы ко- и полигенерации.

В последнее время в нашей стране уделяется большое внимание энергосбережению и повышению энергетической эффективности вновь строящихся и реконструируемых объектов гражданского и производственного назначения, в том числе газораспределительных станций (ГРС).

Для реализации данной задачи следует руководствоваться Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями от 8 мая, 27 июля 2010 г.).

В качестве мер по обеспечению энергосбережения следует предусматривать:

а) энергоэффективное использование топливо-/ энергопотребляющего и диагностического оборудования, конструкционных и изоляционных материалов, приборов учета расхода энергетических ресурсов и контроля за их использованием, систем автоматизированного управления энергопотреблением;

б) обеспечение точности, достоверности и единства измерений в части учета отпускаемых и потребляемых энергетических ресурсов.

Указанные меры в соответствии с ч. 5, ст. 12 Федерального закона от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ являются обязательными для ГРС, общая площадь зданий и сооружений которых превышает 50 м<sup>2</sup>, должны учитываться на стадии изготовления ГРС и выполняться в процессе эксплуатации. Кроме того, в целях определения фактического баланса потребления топливно-энергетических ресурсов, оценки энергоэффективности, а также формирования мероприятий по энергосбережению, в процессе эксплуатации следует предусматривать ведение энергетического паспорта в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51379-99 «Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов».

Обязательность разработки энергетического паспорта здания устанавливается органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Паспорт, согласно п.4.1 ГОСТ Р 51379-99, должен разрабатываться на основе энергетического обследования, которое является обязательным в случае, если годовое потребление энергоресурсов предприятием превышает 6 000 тонн условного топлива (применительно к ГРС - если среднегодовое значение расхода газа для собственных нужд составляет не менее 600 м<sup>3</sup>/ч). В остальных случаях необходимость и периодичность подобных обследований должна определяться органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

В конечном итоге приведем функциональную схему поэтапного менеджмента осуществлением инновационных проектов, которая просматривается при проведении анализа доступных материалов по газовой промышленности [2].

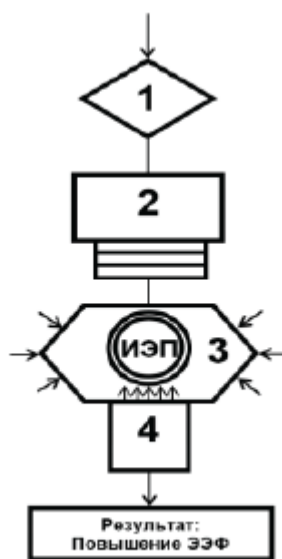


Рисунок 2 - Функциональная схема поэтапного менеджмента осуществлением инновационных проектов, которая просматривается при проведении анализа доступных материалов по газовой промышленности

В данном случае:

1 — Целеустановка — следует выполнить энергетическое обследование, провести анализ потребления ресурсов с проведением оценки потенциала ресурсосбережения и вероятной экономии.

2 — Ресурсопроектирование — определить параметры выявленного маршрута ресурсосбережения и сформировать основной перечень ресурсосберегающих нововведений.

3 — Активный режим — организационно-управленческие действия по росту синергетического эффекта при помощи осуществления ожидаемых мер.

4 — Гибридный мониторинг с использованием автоматизированных систем для корректного проведения анализа итогов.

Таким образом в статье проведен анализ мероприятий двух этапов ресурсо-инновационной политики, рассмотрены основные цели научных работ в направлении инновационных технологий, проанализированы инновационные технологии в газотранспортной системе РФ; дана функциональная схема поэтапного менеджмента осуществления инновационных проектов в газовой промышленности.

### Список литературы

1. Ермоленко, Г. В. Анализ деятельности ведущих нефтегазовых компаний в области возобновляемой энергетики // Аналитические обзоры института энергетики НИУ ВШЭ, 2017. — с. 57.
2. Инновационные энергосберегающие технологии на волновых принципах для нефтегазохимического комплекса. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ecoteco.ru/library/magazine/1/technologies/>
3. Пастушенко, И.Л. Управление энергосберегающими инновациями в нефтяной и газовой промышленности, 2017. — № 4. — с. 240-245 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30681008>.
4. Ресурсосбережение в нефтяном секторе экономики: инновационный подход: [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://refdb.ru/look/2365716.html>
5. Исследование рынка аппаратов воздушного охлаждения для нефтегазовой отрасли: серьезных потрясений не ожидается [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://www.megaieseich.ni/news\\_in/issledovanie-lyiika-apparatov-vozdushnogo-ohlazhdeniya-dlya-neftegazovoy-otrasli-seieziiyh-potryaseniya-ne-ozhidaetsya-156](https://www.megaieseich.ni/news_in/issledovanie-lyiika-apparatov-vozdushnogo-ohlazhdeniya-dlya-neftegazovoy-otrasli-seieziiyh-potryaseniya-ne-ozhidaetsya-156) (дата обращения: 27.03.2024).
6. Сендеров. О. А. Оценивание параметров и метрологическая аттестация математической модели аппарата воздушного охлаждения газа / О. А. Сендеров // Радиоэлектроника и информатика. - 2005. - С. 140-144.

УДК 622.691.4

**Головач Юлия Александровна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры ТТГВ;  
**Говера Тарас Владимирович**,  
магистрант гр. ТГВм-53а кафедры ТТГВ;  
**Дяченко Ольга Александровна**,  
магистрант гр. ЗТГВм-53а кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

*Статья посвящена проблеме образования гидратных пробок на газораспределительных станциях. В работе рассматриваются методы предотвращения гидратообразования, включая использование ингибиторов гидратообразования, регулирование давления и температуры, использование оборудования с высокой производительностью, регулярное обслуживание и мониторинг оборудования*

*Ключевые слова: газораспределительная станция, природный газ, дросселирование, регулятор давления, гидратообразование, эффект Джоуля-Томпсона, эффект Ранка-Хильша*

**Формулировка проблемы.** В настоящее время газораспределительные станции в зависимости от назначения и требуемых параметров сооружают преимущественно по типовым проектам. В большинстве существующих ГРС для понижения давления среды используется процесс дросселирования, когда создается регулируемое гидравлическое сопротивление потоку газа, а для повышения температуры газа перед регуляторами — газовые подогреватели. Необходимость подогрева газа перед редуцированием связана с тем, что дросселирование давления сопровождается (согласно эффекту Джоуля-Томпсона) охлаждением газа, создающим опасность закупорки трубопроводов и оборудования ГРС газовыми гидратами.

Как правило, предварительный подогрев газа осуществляется за счет сжигания части транспортируемого газа, что не отвечает требованиям энергосбережения. Кроме того, установка и работа греющих котлов приводит к усложнению технологической схемы ГРС. Поэтому изучение методов предотвращения гидратообразования на газораспределительных станциях является актуальным вопросом.

### **Анализ последних исследований и публикаций.**

**Целью** работы является анализ методов предотвращения гидратообразования для выделения среди них наиболее экономически целесообразных, универсальных, экологических и легко применимых методов.

**Основной материал.** В Российской Федерации система доставки природного газа до потребителей газопроводным транспортом представляет собой единую технологическую цепочку, включающую в себя газораспределительные станции (ГРС), основной задачей которых является бесперебойное снабжение потребителей газом за счет понижения давления и поддержания его на требуемом уровне [1].

Проблема гидратообразования на газораспределительных станциях является актуальной, так как гидраты могут привести к серьезным последствиям и аварийным ситуациям. Это создает не только проблемы с производственными процессами, но и представляет угрозу для безопасности персонала и окружающей среды.

Гидратообразование в природном газе - это физический процесс, при котором при определенных условиях давления и температуры молекулы газа встраиваются в кристаллическую решетку воды, образуя структуру, известную как гидрат. Гидраты образуются из-за взаимодействия молекул газа с молекулами воды при наличии свободного

пространства в кристаллической решетке. Этот процесс может вызывать серьезные проблемы в газопроводной и нефтегазодобывающей промышленности, так как гидраты могут приводить к забивке и повреждению оборудования, что в конечном итоге может привести к простоям и потере производительности.

Для предотвращения гидратообразования на газораспределительных станциях применяются различные установки и системы. Самые распространённые из них:

1. Использование ингибиторов гидратообразования. Это химические вещества, которые добавляются в поток газа для изменения его химических свойств и предотвращения образования гидратов при низких температурах и высоких давлениях. Ингибиторы могут быть введены в газопровод непосредственно или добавлены к газу в специальных емкостях или установках.

2. Регулирование давления и температуры. Системы регулирования давления и температуры играют ключевую роль в предотвращении гидратообразования. Поддержание оптимальных условий в системе, при которых гидраты не образуются, осуществляется с использованием специальных регулирующих устройств и оборудования [2].

3. Изоляция оборудования. Хорошая изоляция газораспределительного оборудования от внешних низких температур помогает предотвратить образование гидратов. Это может включать в себя использование теплоизоляционных материалов, оболочек и обогревающих систем для поддержания оптимальной температуры оборудования.

4. Использование оборудования с высокой производительностью. Применение специализированного оборудования с высокой производительностью и эффективностью также способствует предотвращению гидратообразования. Это может включать в себя установку специальных фильтров, сепараторов и сушилок для удаления влаги из газа до его поступления в систему.

5. Регулярное обслуживание и мониторинг. Важным аспектом предотвращения гидратообразования является регулярное техническое обслуживание и мониторинг состояния оборудования. Это позволяет выявлять и устранять потенциальные проблемы до их возникновения, а также следить за эффективностью работы системы.

Одна из причин образования гидратов в газопроводе – редуцирование газа, например, на узле редуцирования ГРС. В соответствии с эффектом Джоуля–Томпсона при падении давления на 1 МПа температура газа понижается примерно на 1–3 °С (для типичных термобарических условий в газопроводе). Если температура газа в самом регуляторе давления или после него опустится ниже температуры точки росы, начнется конденсация влаги, и могут возникнуть условия для начала образования гидратов.

Кристаллогидраты образуются при определенных значениях температуры и давления в газе, насыщенном влагой. Зоной их образования является область, расположенная левее равновесных кривых (рисунок 1) [3, 4].

Рассмотрим возможности оптимизации работы входного участка ГРС типа «Энергия» (рисунок 2) [5]. Участок 1 газопровода имеет наружный диаметр 110 мм, участок 4 – 60 мм, участок 5 – 90 мм. При образовании гидратов, приводящих к понижению давления газа в подогревателе газа 7, появляется повышенный шум в трубопроводе с наименьшим диаметром – на выходе газа из фильтра 2. После подачи метанола в газопровод в точку врезки между фильтром 2 и фланцем 3 повышенный шум исчезает, и давление газа восстанавливается. По условиям работы ГРС нет необходимости в участке 4 с уменьшенным диаметром газопровода, и его можно увеличить до 90 мм. Если принять, что перепад давления фиксируется при уменьшении диаметра проходного сечения газопровода более чем на 40 %, это будет соответствовать постепенному нарастанию гидратов и уменьшению диаметра проходного сечения газопровода с 50 до 30 мм (при толщине стенки газопровода 5 мм). В этом случае увеличение диаметра участка 4 с 60 до 90 мм приведет к тому, что площадь сечения газопровода, в котором могут накапливаться гидраты до появления перепада давления, увеличится в три раза.

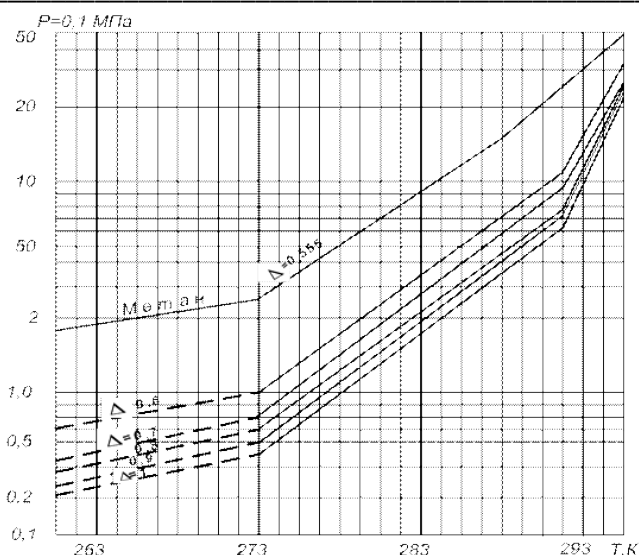


Рисунок 1 - График образования гидратов природного газа в зависимости от температуры и давления

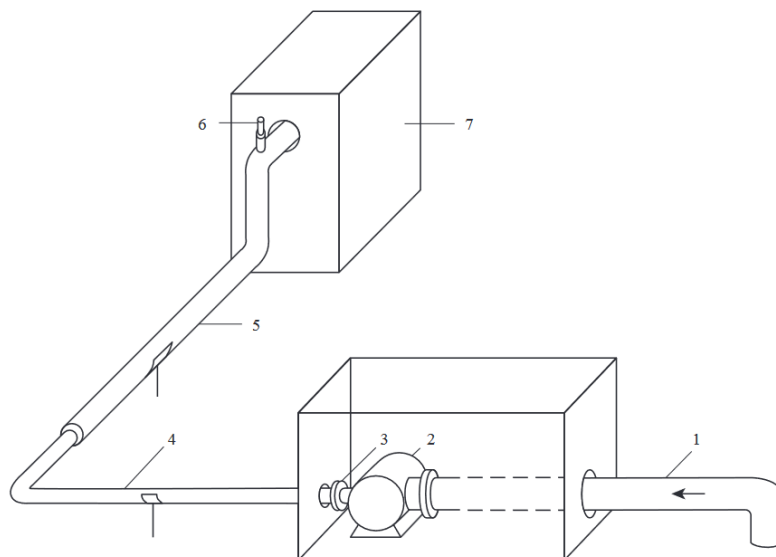


Рисунок 2 - Входной участок газопровода ГРС типа «Энергия»

Приведем пример ГРС, где рассматриваемая проблема выражена наиболее ярко: значительная протяженность входного надземного необогреваемого участка около 40 м обусловлена наличием измерительных трубопроводов системы учета расхода газа [5]. По наблюдениям обслуживающего персонала, даже утепление только начального участка (4 м) способствовало уменьшению вероятности образования гидратов.

На другой ГРС входной нетеплоизолированный надземный участок газопровода передсчетчиком учета расхода газа составляет всего 8 м. Но из-за достаточно высокого давления газа (4,5 МПа и выше) и наличия этого участка оказалось достаточно для образования гидратов в зимний период.

Подобные участки, выполняющие роль «конденсаторов гидратов», встречаются в разных вариантах как на ГРС, так и на линейной части газопроводов-отводов. На рисунке 3 приведен пример двух ГРС исполнения «Ташкент-2» с разной привязкой на местности. На ГРС-1 весь газопровод от выхода его из-под земли и до подогревателя газа 4 выполнен в надземном исполнении, на ГРС-2 большая часть газопровода проложена под землей. Кроме того, длина надземных участков 1 и 3 составляет: на ГРС-1 – около 33 м; на ГРС-2 – около

11 м. Несмотря на то, что эти ГРС находятся на одном газопроводе и работают при одинаковом давлении (расположены на расстоянии около 30 км друг от друга), на ГРС-1 из-за переохлаждения газа в газопроводе отмечались случаи образования гидратов в конце участка 3 (перед входом в подогреватель газа), а на ГРС-2 таких случаев не было. На этих ГРС подогретый газ возвращается из подогревателя 4 по газопроводу 5 в блок редуцирования 2. Для газопровода 5 эффективная теплоизоляция также позволила бы уменьшить расход газа на подогрев.

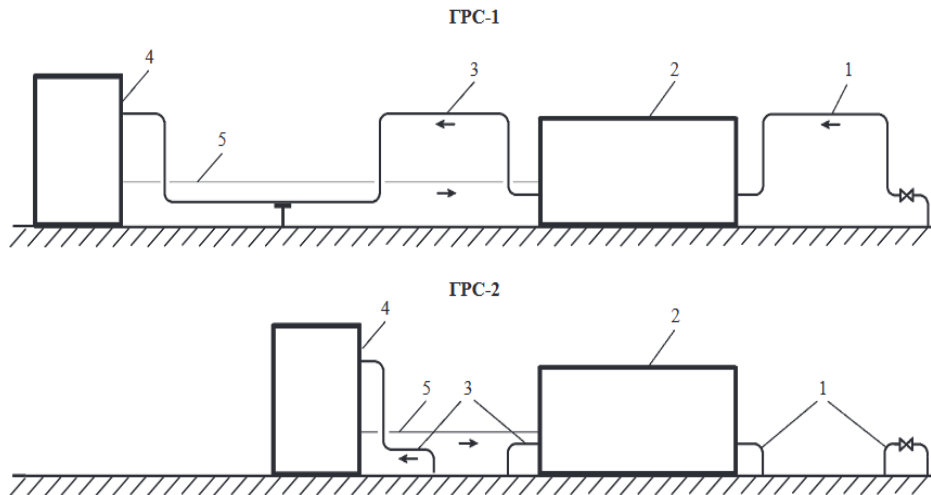


Рисунок 3 - Варианты исполнения ГРС

В некоторых случаях применяется введение ингибитора (метанола) в поток газа перед редуцирующим устройством. Основными недостатками данного метода являются токсичность и высокая стоимость метанола.

Наиболее перспективным вариантом решения проблемы гидратообразования является применение регуляторов давления газа с теплогенератором (РДУ-Т) (рисунок 4) [1]. При давлении на входе не менее 0,6 МПа и расходе через регулятор не менее 1000 м<sup>3</sup>/ч, теплогенераторы, принцип действия которых основан на эффекте Ранка-Хильша (рисунок 5) [1], обеспечивают подогрев корпуса в зоне дросселирования, препятствуя закупориванию редуцирующего устройства.

Суть этого эффекта заключается в том, что при расширении газа через дроссель или регулятор давления происходит понижение температуры газа. В соответствии с эффектом Джоуля–Томпсона при падении давления на 1 МПа температура газа понижается примерно на 1–3 градуса С (для типичных термобарических условий в газопроводе). Это происходит из-за изменения кинетической энергии газовых молекул в процессе расширения. Понижение температуры может быть достаточным для предотвращения образования гидратов в системе, так как гидратообразование зависит от комбинации давления и температуры.

Применение этого эффекта в газоснабжении особенно актуально при высоких давлениях и низких температурах, когда риск образования гидратов на газопроводе или в оборудовании становится значительным. Регуляторы давления, которые оснащены теплогенераторами, используют эффект Ранка-Хильша для подогрева газа в зоне дросселирования. Это помогает предотвратить переохлаждение газа и образование гидратов, что повышает надежность работы системы и уменьшает риск аварийных ситуаций.

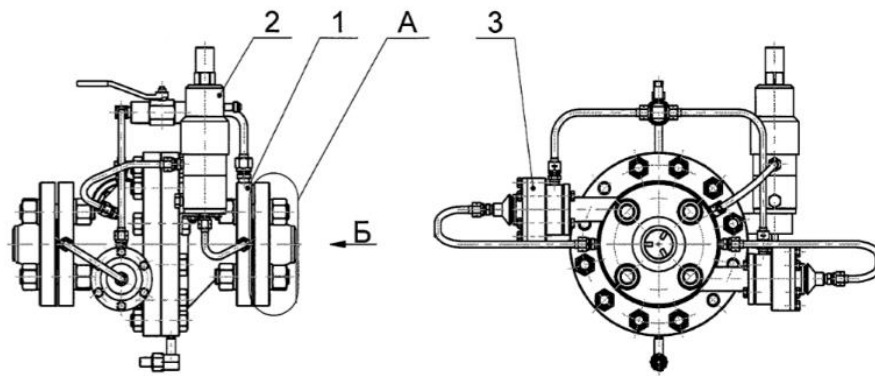


Рисунок 4 - Общий вид регуляторов давления газа РДУ-Т

1 – исполнительное устройство, 2 – задающее устройство, 3 - теплогенератор

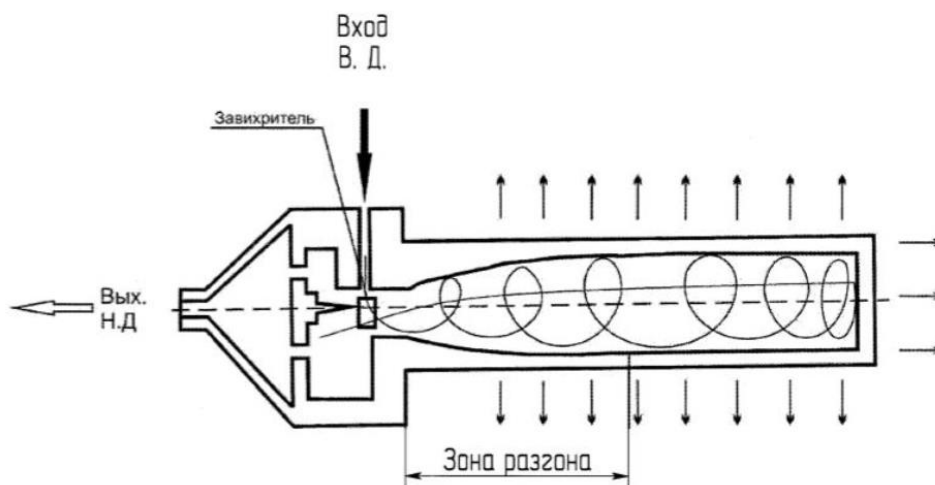


Рисунок 5 - Схема работы теплогенератора

### Выводы

Общий вывод из представленных решений проблемы гидратообразования на газораспределительных станциях сводится к следующему:

1. Оптимизация диаметра участков газопровода, особенно тех, где вероятность образования гидратов выше, позволяет уменьшить риски образования гидратной пробки. Изменение диаметра трубопровода может значительно повлиять на условия транспортировки газа и предотвратить образование гидратов, что снижает вероятность переохлаждения газа и дальнейшее образование гидратных пробок.

2. Применение теплоизоляции на участках газопровода, особенно на необогреваемых участках и участках с высоким давлением газа, способствует снижению риска образования гидратов. Теплоизоляция помогает поддерживать температуру газа на оптимальном уровне, что предотвращает его переохлаждение и образование гидратов.

3. Применение регуляторов давления газа с теплогенератором (РДУ-Т) представляет собой перспективное решение для предотвращения гидратообразования. Теплогенераторы, действующие на принципе эффекта Ранка-Хильша, обеспечивают подогрев корпуса регулятора в зоне дросселирования, что препятствует закупориванию регулятора и образованию гидратных пробок. Это решение позволяет полностью исключить использование подогревателей газа, что является более эффективным и экономичным способом предотвращения гидратообразования.



Таким образом, комбинация вышеупомянутых методов позволяет снизить риски образования гидратных пробок на газораспределительных станциях, обеспечивая стабильную и безопасную работу системы.

### **Список литературы**

1. Захаренко, С. О. Предотвращение гидратообразования на газораспределительных станциях / С. О. Захаренко, А. В. Макаров // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 12–16 декабря 2016 г.). — Екатеринбург : УрФУ, 2016. — С. 132-134.
2. Слесаренко, В. В. К вопросу неэффективности применения существующей технологии борьбы с гидратообразованием на ГРС Приморского края / В. В. Слесаренко, С. В. Макушин, Г. С. Кулиев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 25 (263). — С. 140-144. — URL: <https://moluch.ru/archive/263/60871/> (дата обращения: 09.03.2024).
3. Helpiks: сайт – РФ, 21.04.2015 – Подогрев газа на ГРС. - URL: <https://helpiks.org/3-23151.html> (дата обращения: 11.03.2024). – Текст. Изображение: электронные.
4. Пиралишвили, Ш. А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш. А. Пиралишвили, В. М. Поляев, М. Н. Сергеев. // Под ред. А. И. Леонтьева. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. – 412 с.
5. Капыш, В. В. Предупреждение гидратообразования в газопроводах-отводах и на газораспределительных станциях / В.В. Капыш, Н.В. Кулемин, В.А. Истомин. – Текст : электронный // Научно-технический сборник. Вести газовой науки. – 2013. – Выпуск 2013-4(15) Проблемы эксплуатации газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. – С. 125–131. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preduprezhdenie-gidratobrazovaniya-v-gazoprovodah-otvodah-i-na-gazoraspredelitelnyh-stantsiyah/viewer> (дата обращения: 10.03.2024). – Текст. Изображение : электронные.

УДК 622.691.4

Головач Юлия Александровна,  
кандидат технических наук, доцент кафедры ТТГВ;  
Михайская Оксана Валентиновна,  
ст. преп. кафедры ТТГВ;  
Тарасов Данил Витальевич,  
магистрант гр. ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА ГРС

*В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности системы газоснабжения за счет использования потенциала избыточного давления природного газа на газораспределительных станциях с применением детандер-генераторных агрегатов (ДГА) для производства электрической энергии. Исследованы устройство и принцип работы ДГА, описаны принципиальные схемы ДГА без подогрева газа с предварительным дросселированием и с подогревом газа перед детандером тепловым насосом, их преимущества и недостатки, обозначены проблемы внедрения детандерной технологии на ГРС*

*Ключевые слова: энергосбережение газораспределительная станция, детандер-генераторный агрегат, природный газ, дросселирование, схема подогрева газа, бестопливный режим, теплонасосная установка*

На сегодняшний день получение электрической энергии с применением ресурсосберегающих и природоохранных технологий становится все более актуальной задачей.

Одним из таких направлений является использование потенциальной энергии природного газа высокого давления с применением детандер-генераторных агрегатов.

При транспортировке природного газа по магистральным трубопроводам давление в них составляет несколько десятков атмосфер, чаще всего около 75 атмосфер. Потребителю же требуется природный газ с давлением существенно ниже, чем в магистральном газопроводе, поэтому транспортируемый газ редуцируется на газораспределительных станциях (ГРС) и далее в пунктах редуцирования газа (ПРГ) [1, 2].

Сброс давления на ГРС и ПРГ происходит с помощью дроссельных устройств, в которых безвозвратно теряется и никак не используется весь потенциал перепада давлений природного газа. Одно из решений задачи энергосбережения в системах газоснабжения – это использование детандер-генераторного агрегата, устанавливаемого вместо дросселирующих устройств на ГРС или ПРГ, в этом случае детандер будет являться генератором так называемой бестопливной электроэнергии, получаемой в электрогенераторе.

В действующих турбодетандерных установках работа, совершаемая турбодетандером, направляется, как правило, на привод электрогенератора.

Это обуславливается тем, что:

- электроэнергия востребована в любом промышленном регионе и легко передается в любую энергосистему - общую или автономную;
- установки для выработки электроэнергии компактны и не требуют большого количества оборудования для технологического обеспечения, а также не требуют строительства специальной инфраструктуры;
- в турбодетандерных агрегатах могут быть использованы серийно выпускаемые электрогенераторы [3].

Принципиальное конструктивное устройство утилизационных турбодетандерных агрегатов достаточно простое. Их основными элементами являются: турбодетандер, где

происходит расширение от входного до заданного выходного давления природного газа, электрогенератор, воспринимающий мощность турбодетандера, автоматическая система управления и система смазки подшипников. Отсутствие процесса сжигания газа обеспечивает полную экологическую чистоту технологического процесса.

Схема без подогрева газа с предварительным дросселированием приведена на рисунке 1.

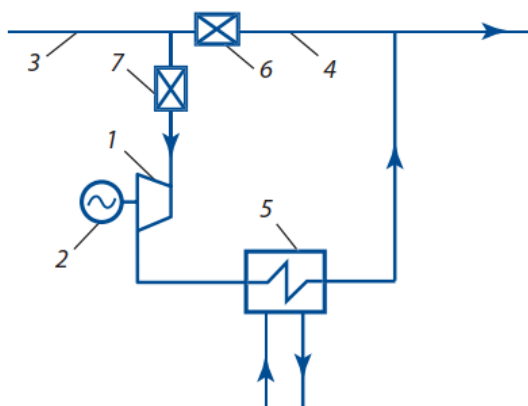


Рисунок 1 - Принципиальная схема ДГА без подогрева газа с предварительным дросселированием

1 - детандер; 2 - генератор; 3 - трубопровод высокого давления;  
4 – трубопровод низкого давления; 5 - теплообменник; 6 - дросселирующее устройство ГРС; 7 - дросселирующее устройство перед детандером

Транспортируемый газ направляется на детандер 1 ДГА через дросселирующее устройство 7. Если напрямую, без дросселя, направить газ в детандер, то расширение газа будет сопровождаться заметным снижением его температуры, которая может достигать недопустимых по условиям эксплуатации значений. Давление транспортируемого газа снижается в дросселирующем устройстве до такого значения, чтобы температура газа на выходе из детандера была не больше предварительно заданной, определяемой требованиями к работе станции технологического понижения давления и правилами эксплуатации газопроводов. При этом теплообменник 5 установки может использоваться для получения холода.

Несомненным преимуществом данной схемы является ее сравнительная простота, связанная с отсутствием системы подогрева газа. К недостаткам схемы следует отнести значительно меньшую мощность на единицу расхода транспортируемого газа, чем это возможно при располагаемых перепадах давлений транспортируемого газа на входе и выходе станции понижения давления [4, 5].

Бестопливный режим работы ДГА можно обеспечить, используя схему подогрева газа перед детандером с помощью термотрансформатора - теплонасосной установки (ТНУ), использующей часть энергии, вырабатываемой электрогенератором ДГА, для обеспечения своей работы. При таком техническом решении для обеспечения нормальной работы ДГА используется лишь энергия потока транспортируемого природного газа и низкопотенциальная энергия. В качестве источника низкопотенциальной энергии при этом могут быть использованы вторичные энергетические ресурсы и/или теплота окружающей среды.

Принципиальная схема установки, в которой для подогрева транспортируемого газа перед детандером используется парокompрессионный термотрансформатор, приведена на рисунке 2.

Установка содержит кинематически соединенный с электрическим генератором 1 детандер 2. Детандер подключается параллельно стационарному дросселирующему устройству Др, разделяющему трубопроводы высокого 3 и низкого 4 давления. Теплообменник 5,

служащий для подогрева газа высокого давления, является одновременно и элементом ТНУ, в состав которой входят также компрессор 6, приводимый в действие электродвигателем 7, дросселирующее устройство 8, испаритель 9. Вода низкого температурного потенциала подводится к испарителю 9 по линии 10 и отводится от него по линии 11. Линии 12 и 13 предназначены для подачи электроэнергии внешнему потребителю и на электродвигатель 7 ТНУ.

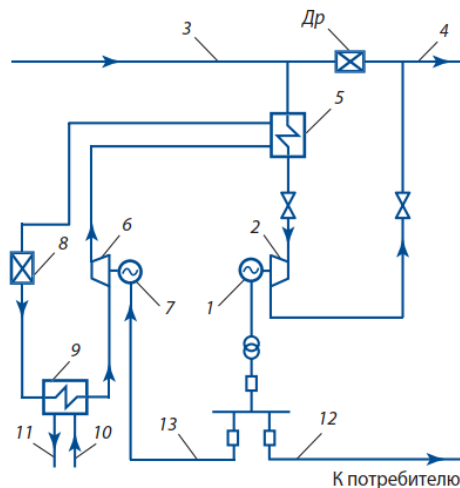


Рисунок 2 - Принципиальная схема установки с подогревом газа перед детандером тепловым насосом

Др - дросселирующее устройство; 1 - электрогенератор; 2 - детандер; 3, 4 - газопровод соответственно высокого и низкого давления; 5 - теплообменник; 6 - компрессор; 7 - электродвигатель; 8 - дросселирующее устройство; 9 - испаритель; 10, 11 - трубопроводы для подвода и отвода воды; 12, 13 - электрические линии

Установка работает следующим образом. Газ высокого давления поступает в теплообменник 5, греющей средой в котором является хладагент контура ТНУ. Теплонасосная установка повышает уровень температурного потенциала теплоты, полученной от низкопотенциального источника в испарителе 9. Нагретый в теплообменнике 5 газ высокого давления подается в детандер 2. После расширения в детандере газ направляется в трубопровод низкого давления 4, а совершенная в детандере механическая работа преобразуется в электрическую энергию в электрогенераторе 1. Часть электроэнергии, выработанной генератором, должна быть израсходована на технологический подогрев газа перед детандером посредством ТНУ. Оставшаяся электроэнергия может быть полезно использована для отпуска внешнему потребителю или производства дополнительной теплоты с помощью той же теплонасосной установки. Дополнительно выработанная теплота может быть использована для дополнительного подогрева газа в теплообменнике 5.

Массовое внедрение ДГА в промышленности России, в том числе на ГРС, связано с необходимостью в наличии на объекте внедрения сравнительно большого расхода природного газа под высоким давлением. Технические характеристики турбодетандеров действующих установок соответствуют очень узкому классу и не могут быть рационально использованы на ГРС с различными параметрами. В связи с этим важным вопросом является разработка типоразмерного ряда энергосберегающих турбодетандерных агрегатов, параметры которых соответствуют параметрам широкого спектра как ГРС, так и ГРП, различных вариантов технологических схем их функционирования, а также методов расчета их технико-экономических характеристик [6, 7].

Использование ДГА позволит повысить эффективность использования природного газа и уменьшить вредное воздействие на экологическую обстановку.

### Список литературы

1. Агабабов, В. С. Бестопливные детандер-генераторные установки: учебное пособие по курсу "Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях" по направлению "Теплоэнергетика" / В. С. Агабабов, А. В. Корягин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 48 с.
2. Карасевич, В. А. Перспективы применения автономных источников энергии при транспортировке и распределении газа / В.А. Карасевич, А.С. Черных, А.А. Яковлев // Научный журнал российского газового общества. – №1. – 2016. – С. 59-61.
3. Мальханов, О. В. Разработка технологических схем и методов расчетов энергосберегающих турбодетандерных установок [Текст] дис. ... к-та техн. наук : 05.14.04 : защищена 22.12.09 / Мальханов Олег Викторович. – М: МГОУ, 2009. - 196 с.
4. Кротевич, В. А. Опыт создания автономной системы электропитания для газовой промышленности // Веб-сайт Тов. "ДП УКРГАЗТЕХ". – 2018. – Режим доступа: [http://www.dgt.com.ua/news/oil-gas/udk\\_621\\_362/udk\\_621\\_362.pdf](http://www.dgt.com.ua/news/oil-gas/udk_621_362/udk_621_362.pdf)
5. Аксенов, Д. Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива / Д. Т. Аксенов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». - 2003. - № 6. - С. 21-25.
6. Кулагина, О. В. Использование избыточной энергии давления природного газа на небольших газораспределительных станциях / О.В. Кулагина // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XIX Всерос. науч.-техн. конф. – Томск. – 2013. – С. 263-264.
7. Агабабов, В.С. Оценка эффективности работы бестопливных энергогенерирующих установок для производства электроэнергии в системе газоснабжения / В.С. Агабабов, У.И.

УДК 622.817.49

**Костенко Алексей Владимирович**,  
магистрант 2-го курса кафедры ТТГВ;  
**Марченко Анна Александровна**,  
магистрант 1-го курса кафедры ТТГВ;  
**Удовиченко Злата Викторовна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА ДЕГАЗАЦИИ ШАХТ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

*Ресурсы шахтного метана в Донбассе оцениваются в 27 трл.м<sup>3</sup>. В настоящее время в большинстве реализованных проектов систем утилизации шахтный газ в значительном объеме используется как топливо для шахтных котельных.*

*Зарубежный опыт использования газа дегазации шахт показывает, что этот газ, извлекаемый из шахт с помощью дегазационных систем, может быть использован для различных целей в зависимости от технической целесообразности. Использование метана из угольных месторождений стимулируется не только экономическими соображениями в мировых странах, добывающих уголь, но и законодательством. Международные соглашения о торговле квотами на выбросы в атмосферу также увеличивают интерес к метану. Сжигание шахтного газа в энергетических установках приносит как экономический, так и экологический эффект.*

*Ключевые слова: шахтный газ, утилизация, дегазация, природный газ, топливо, метан, энергетические установки*

**Введение.** Одна из наиболее актуальных и сложных проблем, стоящих в настоящее время перед газовой промышленностью страны является обеспечение устойчивой подачи газа потребителям в условиях значительных колебаний его потребления. При понижении температуры наружного воздуха значительно возрастает потребность в газе. В отопительный сезон на каждый градус снижения температуры наружного воздуха потребность в газе возрастает примерно на 5%. Основным вопросом обеспечения устойчивой подачи тепловой энергии является покрытие пиковых расходов газа.

Другой проблемой является снижение неучтенных потерь при использовании природного газа. Для решения этой проблемы у населения устанавливаются счетчики. Тип газового счетчика устанавливаемый у населения в зависимости от газопотребляемого оборудования.

Определенную часть пиковой потребности в газе в периоды похолодания можно уменьшить за счет перевода ряда потребителей на другой вид топлива.

### **Применение дегазации угольных шахт**

В настоящее время месторождения каменного угля содержат много горючего газа (в основном метан). Так в донецком угольном бассейне, по мнению ряда ученых, содержится от 15 до 27 трл.м<sup>3</sup> метана [1].

Шахтный метан представляет собой не менее ценное, чем уголь, энергетическое сырье, по своим свойствам и составу аналогичен природному газу. Его рациональное использование является актуальной задачей. В настоящее время имеется достаточно широкий выбор способов и средств утилизации шахтного метана, что позволяет выбрать экономически эффективные технологии с учетом возможностей дегазационных систем шахт Донбасса.

Анализ способов утилизации метана дегазационных систем мировой зарубежной практики показал, что в угледобывающих странах каптируемый газ в основном используют как топливо в энергетических установках: шахтных котельных установках,

турбоэлектростанциях, дизельных газоэлектростанциях, газовых двигателях внутреннего сгорания для электрогенераторов и др.

На шахтах Донбасса наиболее широко шахтный газ используется в качестве топлива в котельных и калориферных установках.

Вместе с тем, требования безопасности при сжигании шахтного метана в котельных установках, заимствованные из других отраслей хозяйства, не учитывают в полной мере специфику его добычи и не нашли до настоящего времени должного отражения в нормативных документах. Недостатки этого способа утилизации – сезонное использование метана, то есть около полугода значительную часть кондиционных смесей выбрасывают в атмосферу. Отечественными и зарубежными фирмами предлагается утилизация шахтного метана в электростанциях.

В таблице 1 рассмотрены основные способы утилизации шахтного метана [2].

Таблица 1 – Способы утилизации шахтного метана

Вид использования	Применение	Преимущество	Недостатки
1	2	3	4
Производство электроэнергии	Генераторы с газовыми двигателями, обеспечивающие энергоснабжение шахты либо подачу электроэнергии в энергосеть	Апробированная технология Рекуперация отработанного тепла для отопления помещений и охлаждения воздуха шахтных стволов	Прерываемый и переменный отпуск электроэнергии, обусловленная этим невозможность подачи электроэнергии в энергосеть Регулярное техническое обслуживание требует ответственного отношения оператора шахты
Высококачественный трубопроводный газ	Очищенный шахтный метан высокого качества	Эквивалент природного газа Прибыльно при высоких ценах на газ Эффективно при наличии мощной трубопроводной инфраструктуры	Стандарты на чистоту трубопроводного газа являются высокими, а сам процесс очистки – дорогостоящим Реализация возможна только при высоком качестве предварительно дренированного или очищенного шахтного метана
«Городской» или промышленный газ среднего качества	Шахтный метан с концентрацией метана более 30% для местных систем централизованного теплоснабжения жилых зон и промышленного использования, например в промышленных печах	Источник топлива по низким ценам Локализованные выгоды Требуется минимальная необходимость очистки газа	Высокая стоимость системы распределения и технического обслуживания Непостоянство качества и поставок Высокая стоимость содержания газохранилищ, необходимых для регулирования пикового спроса
Сырье для химической промышленности	Высококачественный газ для производства сажи, формальдегида, синтетических топлив и диметилового эфира (ДМЭ)	Использование для поставок высококачественного шахтного метана при сложной конъюнктуре	Высокие издержки переработки Отсутствие возможностей использования МЧР при возможном высвобождении углерода

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Район расположения шахты	Обогрев, приготовление пищи, котлоагрегаты, сушка угольной пыли, жилые дома шахтеров	Заменяет уголь Экологически чистый, дешевый энергоисточник	Вариант может быть экономически менее выгодным при использовании на месте расположения шахты, чем за ее пределами
Транспортные средства	Высококачественный очищенный газ, извлекаемый при предварительной дегазации, и метан угольных пластов, которые заменяют КПГ и СПГ	Свободный доступ на рынок для поставок газа при сложной конъюнктуре Весьма высокие цены на моторное топливо	Издержки на переработку, хранение, закачку и транспортировку газа Очень высокие стандарты на очистку

Принципиальная схема утилизации метана представлена на рисунке 1.

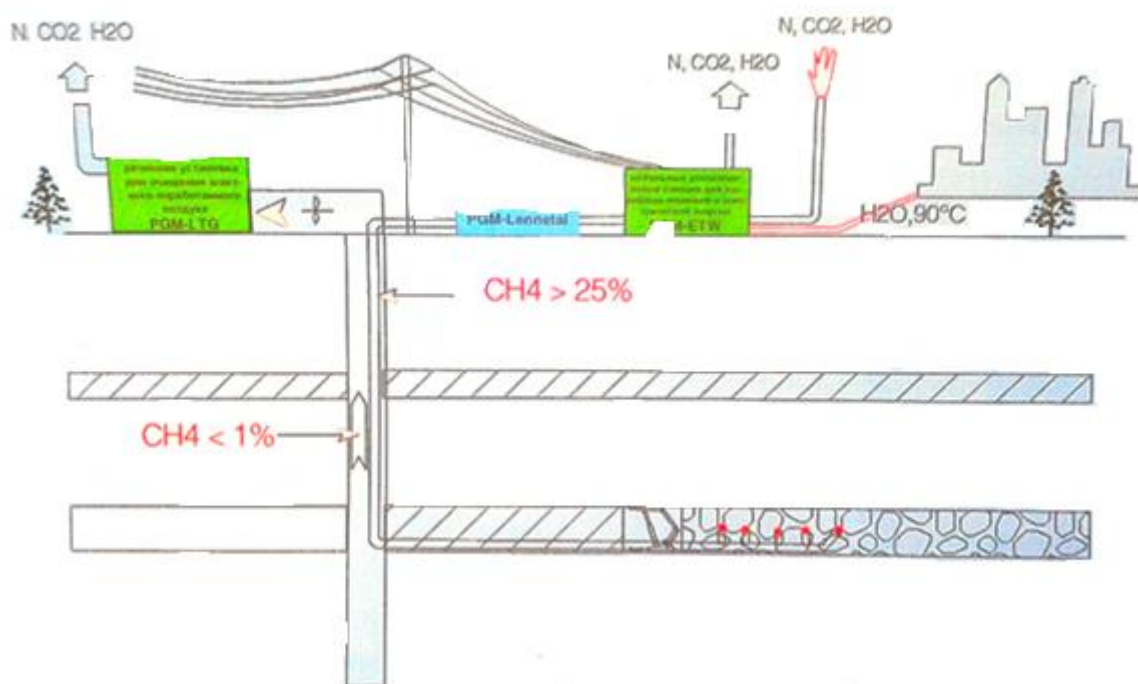


Рисунок 1 – Принципиальная схема утилизации шахтного метана

### Использование шахтного газа в качестве топлива для паровых котлов

Это наиболее простой способ использования извлеченного шахтного газа, требующий простейшего оборудования. Газовые горелки могут быть установлены в большинстве жаротрубных и водотрубных котлов сравнительно легко и дешево без значительных переделок паровых котлов. Кроме того, газовые горелки могут быть установлены в котельных топках таким образом, чтобы при недостатке газа возможно было одновременно сжигать и газ и твердое топливо [3].

В топках шахтных котлов, потребляющих дренированный шахтный газ, обычно используются горелки для сжигания природного газа. Каждая горелка оборудована пламяпрерывающим устройством, выключающим подачу газа в горелки в случаях гашения пламени. Имеется также устройство, которое контролирует изменение давления в газовой и



тягово-воздушных линиях, перекрывающее главный клапан, если газовое давление поднимается или падает ниже установленных пределов или если давление, под которым подается воздух, упадет ниже требуемой величины. Эти предохранители гарантируют безопасную работу установки и исключают неполное сгорание газообразного топлива. Там, где предусмотрена принудительная тяга, создание давления в тяговых котельных трубах осуществляется таким образом, что снабжение горелок газом прекращается при отсутствии необходимого разрежения в трубе.

Одной из трудностей, встречающихся при сжигании извлеченного метана в топках шахтных котлов, является конденсация воды в газовых линиях, что влияет на работу автоматических клапанов и пламегасителей. После введения усовершенствованных водяных ловушек и изменения положения клапана эта трудность была преодолена.

В дальнейшем было установлено, что балансировочно-клапанные регуляторы недостаточно быстро реагировали на изменение давления. Лучшие результаты были получены с помощью управляемых регуляторов.

Установлено, что для 1 кг пара при сжигании шахтного газа в топках паровых котлов при манометрическом давлении 11,13 МПа, потребуется 3,4 кДж, а для выработки с помощью пара и паровых машин 1 кВт·ч электроэнергии необходимо 6,12 кг пара или 20,8 кДж [4].

### **Использование дренированного шахтного газа в газовых турбинах**

Шахтный газ является хорошим топливом для газовых турбин, так как он достаточно чист и имеет высокую теплоту сгорания (до 36,7 МДж/м<sup>3</sup>).

Проведенными в Англии исследованиями было установлено, что для утилизации дренируемого в шахтах дегазационного газа газовые турбины являются более подходящими установками, чем двигатели внутреннего сгорания, так как дают лучшие экономические показатели. Поршневые машины обычно требуют устройства массивных фундаментов и использования большого количества воды для охлаждения, в то время как газовые турбины вполне удовлетворительно работают при толщине бетонного основания всего 150 мм и не требуют воды для охлаждения. В связи с этим, газовые турбины более мобильны и могут быть сравнительно легко перемещены на новое место, если снабжение метаном по какой-либо причине прекратится [5].

Газовые турбины также требуют меньших затрат при эксплуатации и нуждаются в меньшем количестве смазочных материалов, чем поршневые. Практика эксплуатации газовых турбин в Англии показала, что они могут эффективно работать в году в течение 8500 часов. Несмотря на то, что коэффициент полезного действия поршневых машин (34%) выше, чем у газовой турбины (23%), общая полная эффективность применения газовой турбины больше вследствие того, что при работе и газовых турбин и поршневых машин теряется много тепла, которое может быть использовано для отопления помещений, производства пара или нагрева воды.

Доля использования теряемой при работе газовых турбин или поршневых машин теплоты в котлах, дающих пар низкого давления (порядка 70 кПа), общий коэффициент полезного действия поршневых машин составит около 45%, а газовых турбин – около 60%.

Мощность газовой турбины, потребляющей 14,15 м<sup>3</sup>/мин метана (при нагрузке на электрогенератор 90% и на отработанно-тепловой котел 70% и при работе газовой турбины 8500 часов в год), составляет 1700 кВт, из которых около 100 кВт потребляется вспомогательными механизмами (в основном компрессором мощностью 90 кВт).

Таким образом, газотурбогенератор может давать полезную производительность около 12,2 млн. кВт/ч в год.

Для предупреждения подачи к турбине метано-воздушных смесей со взрывчатой концентрацией метана при содержании его более 1,5% включается сигнальный звонок, а при содержании его более 2,5% специальная электрически удерживаемая задвижка закрывает воздушный канал и открывает доступ атмосферному воздуху к турбине. Защитное устройство срабатывает до того, как метано-воздушная смесь с повышенным содержанием метана достигает задвижки в воздушном канале. После фильтрации исходящий воздух поступает к

турбинному компрессору с коэффициентом сжатия 5:1. После сжатия воздуха до 0,3-0,5 МПа, газовоздушная смесь проходит через теплообменник, где она нагревается газами, выпущенными из турбины, до температуры 445°C. Затем газ поступает в сжигательную систему, состоящую из температурного повысителя, работающего параллельно с добавочно-топливной сжигательной камерой. Температурный повыситель состоит из двух стальных реакционных камер, работающих на принципе регенераторов, каждая из которых футерована огнеупорными кирпичами. Метано-воздушная смесь поступает в одну из камер, где она нагревается до температуры, при которой имеет место быстрое окисление метана с выделением теплоты. Горячие газы затем проходят во вторую камеру, где часть тепла, выделенного метаном, используется для нагрева камеры. Поэтому в любое время одна из камер используется как реакционная, в то время как другая разогревается. Переключательные клапаны реверсируют направление потока метано-воздушной смеси через температурный повыситель в требуемых интервалах. Метано-воздушная смесь нагревается в температурном повысителе до 570°C.

С другой стороны извлеченный газ с высоким содержанием метана (65-75%) подается из газгольдера в поршневой компрессор, в котором он сжимается до 1 МПа. Сжатый дренированный газ поступает в камеру сжигания метана, отработанные газы из которой выходят с температурой 900°C и смешиваются с горячими газами из температурного повысителя, образуя смесь с температурой 750°C. Эта газовая смесь затем поступает к газовой турбине. Номинальная мощность газовой турбины 2000 кВт, она снабжена одноступенчатым центробежным компрессором с максимальным коэффициентом сжатия 5:1 и величиной воздушного потока 18 кг/с.

Скорость вращения турбины около 8000 об/мин. Турбина имеет две ступени. Проектная максимальная температура газа 780°C. Диск турбины и лопатки охлаждаются воздухом. После расширения в турбине газы выходят с температурой 500°C и под атмосферным давлением. Они проходят через теплообменник и выпускаются в атмосферу с температурой 270°C, предварительно нагревая исходящую струю воздуха в теплообменнике. Турбина приводит в движение генератор переменного тока мощностью 2000 кВт, дающий ток напряжением 3300 В и частотой 50 периодов.

#### **Утилизация вентиляционного метана.**

Метан, извлекаемый системами вентиляции ( $C > 0,75\%$ ) и управления газовой выделением ( $C > 3,5\%$ ), характеризуется низкой концентрацией. Его переработка возможна в качестве основного и вспомогательного топлива. Основными технологиями утилизации вентиляционного метана являются: тепловое окисление, каталитическое дожигание метана в газотурбинных установках, подача вентиляционного метана в составе топливной смеси в котлы и двигатели внутреннего сгорания. Технологии теплового окисления и каталитического дожигания являются инновационными технологиями, которые пока имеют ограниченное применение [6]. В качестве дополнительного топливного компонента метановоздушной смеси используется в так называемом «дутье» при утилизации основного топлива. Для переработки вентиляционного метана в качестве основного топлива необходима стабильная и более высокая концентрация  $CH_4$ , чем при его использовании совместно с газовой смесью из систем дегазации.

**Вывод:** Опыт работы ряда шахт России и зарубежных стран свидетельствует о большой экономической эффективности дегазации с использованием метана. Область применения каптируемого газа очень широка. Заслуживает особого внимания использования его в шахтных котельных и в качестве горючего для турбин.

### Список литературы

1. Безбородов, В.А., Повышение уровня взрывозащиты газотранспортных систем угольных шахт / В.А. Безбородов // Всероссийская научно-практическая конференция. – Москва. - 2017. - С. 234-236.
2. Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах. Серия публикаций ЕЭК по энергетике, № 31. – Нью-Йорк и Женева, 2010. – 87 с. ISBN 978-92-1-117018-4; ISSN 1014-7225.
3. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Уткаев Е.А., Соколов С.В., Кормин А.Н., Смыслов А.И. Направления утилизации шахтного метана // Вестник КузГТУ. - 2015. - № 6. - С. 62–67.
4. Тайлаков О.В. Утилизация метана угольных шахт в Кузбассе / О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, М.П. Макеев, Д.Н. Застрелов, С.В. Соколов // Вестник НЦ ВостНИИ. Рудничная аэрогазодинамика. - 2022. - №2. – С. 59-65. DOI: 10.25558/VOSTNIИ.2022.66.19.006
5. Садов А.П., Костеренко В.Н., Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И. Опыт использования вентиляционного метана в качестве дополнительного топлива для двигателей внутреннего сгорания // Уголь. - 2015. - № 12 (1077). - С. 61–67.
6. Горн Е.В., Куркутов С.А., Снигирев В.В., Ковтун А.А. Технологические схемы утилизации вентиляционного метана (МВС). Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019;(S38):45–51. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-38-45-51>.

УДК 621.6

Добросельский Максим Сергеевич,  
магистрант 2-го курса кафедры ТТГВ;  
Звягина Виктория Сергеевна,  
магистрант 2-го курса кафедры ТТГВ;  
Удовиченко Злата Викторовна,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЛАГИ В ДРОССЕЛИРУЮЩИХ ОРГАНАХ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ

*Современные системы газоснабжения представляют собой сложный комплекс, состоящий из газораспределительных станций (ГРС), газовых сетей высокого, среднего и низкого давления, газорегуляторных пунктов и установок (ГРП и ГРУ), и предназначены для обеспечения газообразным топливом населения, коммунально-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных потребителей.*

*В настоящее время, газораспределительные станции в зависимости от назначения и требуемых параметров сооружают преимущественно по типовым проектам. В большинстве существующих ГРС для понижения давления среды используется процесс дросселирования, когда создается регулируемое гидравлическое сопротивление потоку газа, а для повышения температуры газа перед регуляторами — газовые подогреватели. Необходимость подогрева газа перед редуцированием связана с тем, что дросселирование давления сопровождается охлаждением газа, создающим опасность закупорки трубопроводов и оборудования ГРС газовыми гидратами.*

*Как правило, предварительный подогрев газа осуществляется за счет сжигания части транспортируемого газа, что не отвечает требованиям энергосбережения. Кроме того, установка и работа греющих котлов приводит к усложнению технологической схемы ГРС [1].*

*Ключевые слова: ГРС, гидратообразование, редуцирование, теплогенератор, вихревая труба, эффект Джоуля-Томсона, дросселирование*

**Введение.** При редуцировании давления газа на ГРС, за счёт эффекта Джоуля – Томсона, происходит существенное падение температуры газа. Это в свою очередь приводит к образованию конденсата в виде газогидратов, обмерзанию регулирующих клапанов, запорной арматуры, приборов и трубопроводов.

Основными факторами, определяющими условия образования гидратов в газопроводах, являются состав транспортируемого газа, его давление, температура, полное насыщение газа парами воды.

Чаще всего закупорка газопровода может происходить в зимний период в связи со значительным охлаждением движущегося в трубопроводе газового потока. Образование гидратов может иметь место на всех газопроводах, за исключением транспортирующих газ с точкой росы паров воды ниже минимальной рабочей температуры [1].

Откадываясь на внутренних стенках труб и оборудовании, гидраты резко уменьшают их пропускную способность и могут привести к аварийной остановке эксплуатации газопровода. Затраты нефтегазовых компаний на предупреждение и борьбу с газогидратными пробками составляют значительную часть стоимости транспорта и распределения газа.

В целях минимизации себестоимости транспорта газа, актуальной задачей является разработка новых способов осуществления подогрева газа при редуцировании, отвечающих требованиям энергосбережения.

### **Образование кристаллогидратов при редуцировании природного газа**

Основной задачей ГРС является снижение давления природного газа из магистральных газопроводов, как правило, от 5,5-7,5 МПа до 0,6-1,2 МПа. При этом редуцирование давления газа часто осуществляется в две ступени (при помощи двух регуляторов давления). Для предотвращения гидратообразования газ на входе ГРС проходит осушку в подогревателях, в которых сжигается дополнительный газ. Таким образом, очевидно, что существующие технологические схемы ГРС не обеспечивают высокий уровень безопасности и надежности эксплуатации.

Для образования гидратов необходимо одновременное выполнение трех условий: наличие воды в газе, достаточно низкая температура и высокое давление газа. При этом следует учитывать, что в определенных случаях пары воды из газа непосредственно конденсируются в газовые гидраты, минуя жидкую водную фазу [2]. Поэтому нужно различать температуру точки росы осушенного газа по гидратам (ТТРг) и температуру точки росы газа по жидкой воде (ТТРв). Для достаточно осушенного газа в газопроводе значение ТТРг выше значения ТТРв на несколько градусов Цельсия [3].

Вода в газопроводе-отводе может появиться по нескольким технологическим причинам: остаться после проведения гидроиспытаний, попасть из магистрального газопровода при пропуске очистного поршня (когда перед поршнем скапливается вода, попадающая в газопровод-отвод в месте врезки) или же сконденсироваться в газопроводе из-за понижения температуры газа ниже ТТРв. Способы предупреждения первых двух причин – соблюдение требований СТО Газпром 2-3.5-354-2009 [3] и перекрытие крана в начале газопровода-отвода (на нулевом километре).

Сильное охлаждение стенок газопровода в зимнее время года имеет место на участках воздушных переходов. На стенках охлажденного трубопровода может начаться конденсация воды как в жидкой фазе, так и в виде газогидратов (иногда льда или льдогидратов) в зависимости от соотношения температуры внутренней стенки трубы, давления и ТТРв природного газа. Аналогичное явление имеет место на территории ГРС, если газопровод выполнен в надземном исполнении и не имеет обогрева – обслуживающий персонал ГРС неоднократно фиксировал наличие гидратов на внутренней стенке газопровода, например, образовавшиеся гидраты обнаруживались при демонтаже газового счетчика, расположенного со стороны высокого давления, причем они покрывали весь внутренний периметр трубы.

Наиболее благоприятны для образования гидратов падение температуры и давления, что влечет за собой уменьшение как упругости водяных паров, так и влагоемкости газа, в результате чего происходит образование гидратов.

Дросселирование – это процесс понижения давления газа или жидкости в потоке без совершения работы. Такое явление имеет место при протекании газа (жидкости) через гидравлическое сопротивление, в частности, при прохождении таких элементов, как клапаны, жиклеры, редукторы давления и др. Процесс дросселирования широко применяется для понижения температуры в системах охлаждения, холодильных установках и в установках для получения сжиженных газов.

Поскольку при дросселировании газ, расширяясь, не производит внешней работы, то этот процесс является необратимым. Понижение давления в канале может иметь место как из-за трения, так и вследствие роста скорости газа; что следует из уравнения Бернулли.

При анализе процесса дросселирования рассматривается лишь падение давления, вызванное трением. Дросселирование обычно протекает без теплообмена с внешней средой. Поток в этом случае является энергоизолированным.

Дросселирование реального газа обязательно сопровождается изменением его температуры. Явление изменения температуры газа при дросселировании получило название эффекта Джоуля-Гомсона, или дроссельного эффекта. Изменение температуры реального газа при бесконечно малых изменениях давления характеризуется дифференциальным дроссельным эффектом.

В зависимости от природы газа и начального состояния, при дросселировании газа его температура может понижаться ( $\alpha_i > 0$ ), повышаться ( $\alpha_i < 0$ ), или оставаться неизменной ( $\alpha_i = 0$ ). Состояние реального газа, при котором  $\alpha_i$  не изменяет свой знак (т.е.  $\alpha_i = 0$ ), называется точкой инверсии, а температура, соответствующая этому состоянию, - температурой инверсии. Геометрическое место точек инверсии на диаграмме состояния называется кривой инверсии.

При редуцировании (дросселировании) газа происходит снижение его температуры, что приводит к отложению твердых кристаллогидратов на поверхности клапана и седла клапана регуляторов давления, вследствие чего они перестают работать, и что может привести к полной остановке ГРС.

Гидраты представляют собой белые кристаллы, похожие на плотную снегообразную кристаллическую массу, при уплотнении напоминающую лед. Кристаллогидраты состоят из одной или нескольких молекул газа (метана, этана и пр. по составу транспортируемого газа (Таблица 1) и нескольких молекул воды.

Таблица 1 - Состав транспортируемого товарного газа

Наименование параметра	Состав транспортируемого газа, %				
	Метан	Этан	Пропан	Углекислый газ	Азот
Эмпирическая формула	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Долевая часть	99	0,1	0,005	0.095	0.8

При транспорте газа образуются смешанные гидраты, которые являются нестабильными соединениями и при определенных условиях (понижение давления, повышение температуры) легко разлагаются на газ и воду.

Для определения зоны возможного гидратообразования необходимо знать давление газа и его температуру после редуцирования.

Углеводороды характеризуются максимальной температурой, выше которой ни при каком повышении давления нельзя вызвать гидратообразование газов. Эта температура называется критической температурой гидратообразования и равна [2]: для метана +21,5°C; этана +14,5°C; пропана +5,5°C; н-бутана +2,5°C; изобутана +1°C.

К традиционным методам борьбы с гидратообразованием на ГРС относят: общий или частичный подогрев газа, локальный подогрев корпуса регуляторов давления (РД), ввод метанола в газопровод (Рисунок 1). Все они требуют либо значительных капиталовложений, либо затрат ресурсов: газа на сжигание, электроэнергии для местного обогрева, метанола.

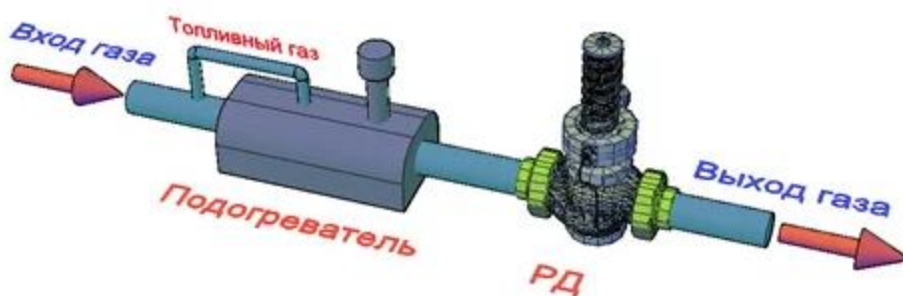


Рисунок 1 - Схема общего подогрева газа на ГРС

Согласно нормам, узел подогрева газа должен обеспечивать температуру газа на выходе из ГРС не ниже минус 10°C (на пучинистых грунтах не ниже 0°C). Для этого на ГРС устанавливают специальные котлы подогреватели, работа которых приводит к усложнению

технологической схемы ГРС, расходу части транспортируемого газа в качестве топлива и выбросам продуктов сгорания в атмосферу.

Одним из решений является внедрение альтернативных источников, использующих энергию ветра, воды, солнца и др. Однако эффективность данных методов сильно зависит от природно-климатических условий.

Для предотвращения обмерзания газового оборудования и подогрева газа предлагается внедрение установок безмашинного энергоразделения. Под термином «энергоразделение» или «безмашинное энергоразделение» понимается перераспределение полной энтальпии (температуры торможения) в потоке газа без совершения им внешней работы и при отсутствии теплообмена с окружающей средой. Причины, вызывающие энергоразделение потока, могут быть различными. В некоторых случаях это вихревые течения, в других – пульсации давления и ударные волны [4,5]. Данные эффекты легли в основу устройств для энергоразделения газов.

Предупреждение гидратообразования является основным мероприятием по повышению надежности газоснабжения на ГРС. При этом существуют несколько способов борьбы с гидратообразованием:

- снижение давления в системе ниже равновесного;
- повышение температуры газа до величины, которая превышает равновесную температуру;
- осушка газа с целью исключения конденсации паров воды;
- добавление в газ ингибиторов гидратообразования, понижающих равновесную температуру.

Общий или локальный подогрев природного газа на ГРС осуществляется с помощью промышленных подогревателей. Данный способ является наиболее удобным, так как позволяет постоянно поддерживать необходимую температуру газа для полноценного функционирования всей системы.

Подогреватели по конструктивным решениям могут быть с прямым и косвенным (с помощью промежуточного теплоносителя) нагревом, и оснащены различными комплектами автоматики, диспетчеризации и вспомогательными устройствами. Данный способ наиболее распространен, но требует значительных финансовых вложений и трудозатрат на проектные работы.

Локальный подогрев регуляторов осуществляют путем обматывания корпуса электрическим ленточным обогревателем. При своей относительной экономической выгоде и простоте, но данный способ имеет огромный минус – требует наличия стороннего источника электроэнергии.

Ввод метанола в газопровод осуществляется путем установки системы впрыска. Даже малая концентрация метанола в воздухе может привести к очень сильному отравлению. Поэтому для обслуживающего персонала метанольной установки потребуются дополнительные средства защиты, а соответственно и дополнительные денежные затраты.

Кроме вышперечисленных способов, для предотвращения гидратообразования могут применять и другие: обогрев помещений, где расположен узел редуцирования, до необходимой температуры, установка на регулятор подогревающей водяной рубашки и т.д. Все эти способы требуют или значительных денежных затрат, или посторонних источников энергии. Кроме того, установка дополнительного оборудования влечет за собой повышение человеческих затрат по его обслуживанию.

Каждый из данных методов имеет свои положительные и отрицательные стороны, но все эти методы объединяет одно – высокая стоимость применяемого дополнительного оборудования, трудозатраты при обслуживании и эксплуатации дополнительного оборудования, повышенные требования промышленной безопасности при обслуживании и эксплуатации.

Так, например: метанол – это сильный яд, который может быть смертельным для человека, и использование которого в технологических процессах должно быть ограничено до

минимума, а по возможности исключено, хотя данный метод очень эффективен при ликвидации образовавшихся гидратных пробок.

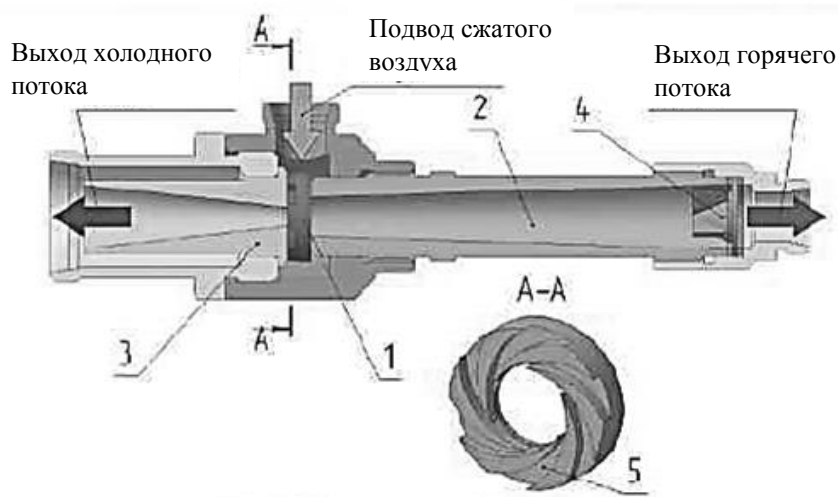
На сегодняшний день на рынке предлагается трубопроводная арматура (ТПА) нового поколения как отечественного, так и импортного производства.

Одним из направлений усовершенствования трубопроводных систем является новый подход в обеспечении стабильной и безопасной эксплуатации редуцирующих узлов существующих ГРС, исключающих в ряде случаев необходимость подогрева газа или создания систем отопления регуляторов давления газа для недопущения гидратообразования при редуцировании газа.

Наиболее экономически целесообразным способом борьбы с образованием кристаллогидратов на поверхности клапана и седла регулятора давления является подогрев зоны дросселирования. Поэтому использование своеобразного пилота регулятора давления по типу трубы Ранка–Хилша является эффективным решением рассматриваемой проблемы.

Внешне простой вихревой эффект на самом деле заключает в себе сложный газодинамический процесс, происходящий в пространственном турбулентном потоке вязкого сжимаемого газа. Этим и объясняется неудача многих попыток найти аналитическое решение задачи.

Вихревой эффект проявляется в закрученном потоке вязкой сжимаемой жидкости и реализуется в очень простом устройстве, называемом вихревой трубой (Рисунок 2).



- 1 – сопловой ввод; 2 – камера энергоразделения; 3 – диффузор холодного потока;  
4 – развихритель горячего потока; 5 – сопловой сужающийся канал

Рисунок 2 - Вихревая труба противоточной компоновки

Вихревая труба представляет собой гладкую цилиндрическую трубу 1, снабженную тангенциальным соплом 2, улиткой 3, диафрагмой 4 с осевым отверстием и дросселем 5.

При протекании газа через сопло образуется интенсивный тангенциальный поток, приосевые слои которого заметно охлаждаются и отводятся через отверстие диафрагмы в виде холодного потока, а периферийные слои подогреваются и вытекают через дроссель в виде горячего потока. По мере прикрытия дросселя общий уровень давления в вихревой трубе повышается и расход холодного потока через отверстие диафрагмы увеличивается при соответствующем уменьшении расхода горячего потока. При этом температуры холодного и горячего потока также изменяются.

В камере разделения перемещаются в осевом направлении два или несколько закрученных встречных потоков. Взаимодействие потоков не поддается строгому математическому описанию. Резкого уменьшения тангенциальной составляющей скорости трудно объяснить только трением газа о стенки. Вероятно, одной из основных причин



диссипации кинетической энергии являются пульсации. Последние при больших градиентах скорости и давления по радиусу и длине камеры увеличивают необратимость процессов передачи кинетической энергии от одних слоев к другим. С одной стороны, протекающие в камере процессы отличаются от наиболее излученных в газодинамике вариантов турбулентных течений повышенной ролью пульсаций. С другой стороны, величину последних нельзя связать простой зависимостью с усредненной во времени скоростью.

На основе вихревого эффекта известно устройство – регулятор давления газа РДУ-Т с теплогенератором. Энергоразделение осуществляется за счёт наличия вихревой трубы Ранка – Хилша [6]. Холодная составляющая отводится и сбрасывается в задний фланец регулятора, что помогает за 6–8 минут нагреть теплогенератор до температуры +40–50°С. Температура нагрева теплогенератора достаточна для предотвращения обмерзания запорно-регулирующего устройства.

Несмотря на такое достоинство, как возможность осуществления нескольких процессов одновременно (охлаждение, нагрев, фазоотделение), данное устройство имеет относительно низкую энергетическую эффективность [7,8].

В настоящее время, в силу невысокой энергетической эффективности, теплогенераторам подобного типа сложно конкурировать с традиционными холодильными установками. Однако, четкое понимание процессов, вызывающих вихревой эффект, позволит создать более точную математическую модель явлений, происходящих в вихревой трубе. Это, в свою очередь, даст возможность повысить энергоэффективность установок на основе трубы Ранка-Хилша, а также проводить оценку производительности разрабатываемых охладителей на ранних этапах проектирования.

**Вывод.** В современных реалиях эксплуатации ГРС (неотапливаемые помещения узлов редуцирования, сложность установки либо полное отсутствие подогревателей газа) регуляторы давления с пилотом-теплогенератором вихревого типа могут решить целый комплекс проблем, связанных с гидрообразованием и эффективности работы целого узла редуцирования. Применение такого теплогенератора не требует использование громоздкого оборудования, персонала, а также дополнительного источника энергии. Подогрев узла редуцирования осуществляется непосредственно газовым потоком.

### Список литературы

1. Слесаренко, В.В. К вопросу неэффективности применения существующей технологии борьбы с гидратообразованием на ГРС Приморского края / В.В. Слесаренко, С.В. Макушин, Г.С. Кулиев // Молодой ученый. — 2019. — № 25 (263). — С. 140-144.
2. Истомин, В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа / В.А. Истомин, В.Г. Квон. – М.: ИРЦ Газпром, 2004. – 508 с.
3. Гурин, С.В. Разработка технологии квазиизотермического редуцирования давления для объектов системы транспортировки и распределения природного газа: дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2008.
4. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
5. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1 : учеб. руководство : для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / Г.Н. Абрамович. – М. : Наука, 1991. – 600 с.
6. Верещагин, А.Г. Регулятор давления газа РДУ-Т – как метод борьбы с гидратообразованием при редуцировании газа / А.Г. Верещагин // СФЕРА Нефть и газ. Всероссийский отраслевой информационно-технический журнал. – Вып. 4/2016(54). - С. 54-56.
7. Хаит А.В. Исследование эффекта энергоразделения с целью улучшения характеристик вихревой трубы: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2012. - 199 с.
8. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 2 : учеб. руководство : для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / Г.Н. Абрамович. – М. : Наука, 1991. – 304 с.

УДК 699.86

Иванова Светлана Сергеевна,  
старший преподаватель,  
Бендерский политехнический филиал  
ГОУ «Приднестровский государственный  
университет им. Т.Г. Шевченко, г. Бендеры, ПМР

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ ПРИДНЕСТРОВЬЯ

*Аннотация. В статье рассмотрены основные энергосберегающие технологии, которые разрабатываются на основе инновационных решений.*

*Ключевые слова: энергосбережение, технологии, газотранспортная отрасль*

Сбережение энергии всех видов – эта задача становится все актуальнее в современном мире. Эти технологии также должны быть экологически безопасны и не менять хода жизни общества в целом и привычного склада дел каждого человека в отдельности.

**Использовать энергосберегающие технологии** в промышленности, в частности, в газовой – значит существенно повысить потенциал предприятия за счет снижения риска возникновения аварийных ситуаций, а также за счет использования современного оборудования, внедрение новых разработок и технологий. **Энергосберегающие технологии разрабатываются на основе инновационных решений, они на данный момент являются выполнимыми технически и приносят экономическую выгоду.** Шагая в ногу со временем филиалы ООО «Гираспольтрансгаз-Приднестровье» также применяют современные технологии производя модернизацию старого и изношенного газового оборудования газорегуляторных пунктов и шкафных регуляторных пунктов. Данная модернизация позволяет значительно повысить безопасность, снизить риски аварийных ситуаций и значительно уменьшить потери газа.

**Телеметрия.** В условиях постоянного повышения уровня газификации жилых зданий, промышленных и коммунально-бытовых предприятий в условиях эксплуатации газовых сетей и оборудования со сроком эксплуатации более 40 лет актуальными становятся вопросы обеспечения безопасности, безаварийности функционирования систем транспортировки и распределения газа.

Автоматизированная система диспетчерского контроля газораспределительного пункта (ГРП) предназначена для предотвращения аварий, их прогнозирования, мониторинга состояния газового оборудования, учета расхода при наличии счетчика, повышения качества предоставления услуг населению и позволяет вести АДС работы по сбору, постоянному контролю и архивированию значений различных аналоговых и цифровых параметров на ГРП, проводить оповещение специалистов АДС об аварийно-пороговых значениях контролируемых параметров.

**Трубопроводы.** Еще недавно в качестве материала для газопроводов применялась только сталь, но в последние годы в связи с развитием технологий создания полиэтилена, предпочтение отдается полиэтиленовым трубам, потому что, полиэтилен по многим показателям существенно превосходит сталь.

Полиэтиленовые трубы для газоснабжения укладывают прямо в грунт без специальной защиты и изоляции, в которых нуждаются стальные трубы. Полиэтиленовые трубы весят в 7 раз меньше стальных аналогичного диаметра и поставляются в бухтах или намотанными на барабаны.

Высокая пластичность полиэтиленовых труб для газоснабжения и прочность на разрыв позволяют прокладывать их в пучинистых грунтах и в регионах с повышенной сейсмической активностью.

При правильной организации работ, скорость строительства газопроводов с использованием полиэтиленовых труб для газоснабжения в два-три раза выше скорости строительства из стальных труб. Стоимость строительства газопроводов с использованием полиэтиленовых труб значительно ниже по сравнению со строительством стальных газопроводов. Затраты труда при использовании полиэтиленовых труб в строительстве газопроводов меньше в три раза, чем при монтаже аналогичных стальных конструкций.

Резюмируя вышеописанное, можно сделать вывод, что применение данного материала для строительства подземных газопроводов, значительно экономит трудозатраты, энергоресурсы как за время строительства, так и в ходе дальнейшей эксплуатации, что в свою очередь приводит к экономической эффективности.

**Техническое диагностирование газопроводов.** проводится с целью: оценки фактического технического состояния газопровода; установления остаточного срока службы (предельного срока эксплуатации) газопровода; разработки рекомендаций по обеспечению безопасной эксплуатации газопровода, до прогнозируемого перехода его в предельное состояние.

Диагностирование производится в два этапа - без вскрытия грунта (бесшурфовое) и шурфовое, в последовательности: сбор данных и анализ технической документации (проектной, исполнительной и эксплуатационной); разработка и составление программы диагностирования без вскрытия грунта и шурфового диагностирования; диагностирование без вскрытия грунта; шурфовое диагностирование; оценка технического состояния подземного газопровода.

**Газовое оборудование.** Большое значение в энергосбережении играет экономия газового топлива при использовании его для обогрева жилья. Практически все газовое отопительное оборудование, произведенное еще в СССР, не было рассчитано на повышенное КПД – «главное, чтоб хорошо грело», но в современном мире, когда цена на газ достаточно велика и с каждым годом увеличивается, данное оборудование потребляет слишком много газа на цели отопления. На сегодняшний день увеличивается число современного более энергоэффективного, экономичного и более безопасного в эксплуатации газового оборудования. Новое современное газовое оборудование отечественного и импортного производства для отопления частных домовладений разрабатывается с учетом максимальной энергоэффективности у которых КПД имеет значение: например, для котлов фирмы Veretta от 83 до 89 %. И с каждым годом выпускаются все современнее оборудование КПД у некоторых даже приближается к 100% (это так называемые конденсационные Котлы). Доля импортного оборудования с каждым годом увеличивается, но скорость увеличения, конечно, зависит от благосостояния наших граждан.

В заключении хочется отметить, что представленный спектр аналитических данных по вопросам энергосбережения трактует внедрение инновационных технологий модернизацию оборудования. Практические примеры применения в нашей республики наглядно показывают эффективность данных энергосберегающих мероприятий, но из-за нехватки достаточного финансирования некоторые проекты внедряются частично на более ответственных участках газотранспортной системы ПМР.

### **Список литературы**

1. Брюханов, О. Н., Жила В.А., Плужников В.А. *Газоснабжение* // Москва: РГГУ, 2017. С. 75-75. 159-160. 392-393.
2. Затибян С. С. *Надежность проектирования и эксплуатации распределительных систем газоснабжения*: диссертация кандидата технических наук : 05.23.03. - Москва, 1978. С. 142-185.
3. Фастов Л.М., Ширяев В.В. *Ремонтные работы на городских газопроводах*//Л.: Недра, 1989. С. 5-6, 17-18.

4. Черемисин А.В. *Повышение технологической надежности газораспределительных сетей на основе статистического анализа*: диссертация кандидата технических наук, Воронеж, 2009.
5. Закон ПМР от 28 декабря 2005 года № 717-3-Ш «Об энергосбережении».

**Кибало Андрей Анатольевич**  
магистрант группы ТГВм-53а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**  
**Позняков Матвей Романович**  
магистрант группы ТГВм-53а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**  
**Шацков Артем Олегович,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

*Повышение эффективности системы отопления — важная задача для обеспечения комфортных условий в зданиях. Одним из методов повышения энергетической эффективности отопления являются методы, направленные на снижение теплопотерь через ограждения. Особое внимание следует уделять теплопроводным включениям и краевым зонам, которые играют ключевую роль в общей теплопередаче. Анализ и оптимизация данных факторов позволяют повысить энергоэффективность зданий и обеспечить более экономичное и устойчивое функционирование систем отопления.*

*Ключевые слова: ограждающая конструкция, теплопроводное включение, краевая зона, потери теплоты*

При выборе оборудования для отопления зданий основой является расчет тепловых потерь через наружные строительные ограждения здания, такие как стены, перекрытия, покрытия, полы и проемы (окна, фонари, двери и ворота). Удельный расход тепловой энергии на отопление определяется на основе теплового баланса здания за отопительный период по соответствующей формуле [1]

$$q = q_{\text{тр}} + q_{\text{инф}} - \eta \cdot (q_{\text{быт}} + q_{\text{ср}}), \quad (1)$$

где  $q_{\text{тр}}$  – теплопотери через ограждения;

$q_{\text{инф}}$  – потери теплоты на нагрев воздуха, поступающего за счет инфильтрации;

$q_{\text{быт}}$  – бытовые тепловыделения;

$q_{\text{ср}}$  – поступления теплоты от солнечной радиации;

$\eta \leq 1$  – доля использования теплопоступлений в здание.

Давайте рассмотрим произвольную наружную ограждающую конструкцию. Предположим, что она включает в себя произвольное количество краевых зон. Общие теплопотери через данное ограждение за отопительный период складываются из основных теплопотерь и дополнительных теплопотерь через все краевые зоны ограждения.

$$Q_T = Q_T^{bas} + \sum_{j=1}^1 Q_{Tj}^{ad}, \quad (2)$$

где  $Q_{Tj}^{ad}$  – добавочные теплопотери через  $j$ -ю краевую зону ограждения.

Отсюда следует, что общие теплопотери можно снизить за счет уменьшения как основных теплопотерь, так и добавочных теплопотерь через краевые зоны ограждения.

В общем случае распределение температур в одной из проекций (чаще всего в плане) конструкции с теплопроводными включениями может быть установлено построением плоского температурного поля на основе численного решения дифференциального уравнения Лапласа.

Основные теплопотери по глади наружного ограждения определяются по формуле

$$Q_T^{bas} = \frac{0,0864 M_{htA}}{R_h^{con}}, \quad (3)$$

где 0,0864 – размерный коэффициент, МДж/(Вт·сут);

$M_{ht}$  – градусо-сутки отопительного периода, определяемые по формуле:

$$M_{ht} = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht}, \quad (4)$$

где  $t_{int}$  – температура внутреннего воздуха;

$t_{ht}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период;

$z_{ht}$  – продолжительность отопительного периода;

$A$  – площадь ограждения по внутренним размерам;

$R_h^{con}$  – сопротивление теплопередаче по глади конструкции (с учетом положения конструкции относительно наружного воздуха).

Изменение температуры на внутренней поверхности приводит к некоторому изменению теплового потока, проходящего через этот участок стены, по сравнению с тепловым потоком, проходящим через условную конструкцию (по глади стены).

Для расчета добавочных теплопотерь через  $j$ -ю краевую зону ограждения используем площадь зоны влияния  $A_j^{ez}$  и коэффициент влияния  $k_j^{ez}$  краевой зоны [2], определяемые по температурному полю, которое может быть получено на основе решения задачи нестационарного теплового переноса [2]. В этом случае теплопотери через краевую зону определяются по формуле

$$Q_{Tj}^{ad} = \frac{0,0864 \cdot M_{ht} \cdot k_j^{ez} \cdot A_j^{ez}}{R_h^{con}}. \quad (5)$$

Для практических расчетов формулу можно преобразовать

$$Q_{Tj}^{ad} = \frac{0,0864 \cdot M_{ht} \cdot \psi_j \cdot A}{R_h^{con}}; \quad (6)$$

где  $\psi_j$  – коэффициент добавочных теплопотерь через  $j$ -ю краевую зону

$$\psi_j = \frac{k_j^{ez} \cdot A_j^{ez}}{A}. \quad (7)$$

После подстановки (3) и (6) в (2) получим формулу для расчета суммарных теплопотерь через ограждение

$$Q_T = \frac{0,0864 \cdot M_{ht} \cdot A}{R_h^{con}} (1 + \sum_{j=1}^1 \psi_j). \quad (8)$$

Это выражение позволяет рассчитать общие теплопотери ограждения, учитывая краевые зоны, и оценить вклад каждой краевой зоны в суммарные теплопотери.

Для здания, состоящего из произвольного количества ограждающих конструкций, удельные теплопотери определяются по формуле

$$q_{tr} = \frac{1}{V_h} \sum_{i=1}^m Q_{Ti}, \quad (9)$$

где  $V_h$  – отапливаемый объем здания;

$Q_{Ti}$  – общие теплопотери через  $i$ -ю ограждающую конструкцию.

Расчет теплопотерь через ограждения здания можно продемонстрировать на примере. Жилое многоквартирное здание имеет размеры в осях 27,6x27,6 м. Здание состоит из 17 этажей. Расчет выполнен при следующих исходных данных  $t_{int} = 20^\circ\text{C}$ ;  $t_{ht} = -2,4^\circ\text{C}$ ;  $z_{ht} = 177$  сут/год;  $R_h^{con} = 4,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $A = 253 \text{ м}^2$ . По формуле (4)  $M_{ht} = 3965 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ .

В наружной стене выделим следующие краевые зоны [3]:

- углы;

- сопряжения наружной стены с внутренними стенами и междуэтажными перекрытиями;

- оконные откосы;

- теплопроводные включения.

Основной характерной особенностью теплопроводных включений является возникновение дополнительных потоков теплоты, которые проходят через них. Эти дополнительные потоки приводят к увеличению общих теплопотерь и снижению эффективности теплозащиты здания.

Рассмотрим типичный этаж как многократно повторяющийся фрагмент здания и определим теплопотери через наружную стену этого фрагмента с учетом краевых зон. Рассмотрим два различных варианта конструктивного решения для краевых зон:

Первый вариант: Отсутствие теплоизоляционных вкладышей; оконные откосы с узкой коробкой; теплопроводные включения без модернизации.

Второй вариант: Присутствие теплоизоляционных вкладышей; оконные откосы с широкой коробкой; улучшенные теплопроводные включения в виде пластмассовых малотеплопроводных коннекторов.

Результаты расчет удельных добавочных теплопотерь с учетом краевых зон ограждений по первому варианту приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Удельные добавочные теплопотери по краевым зонам ограждения для первого варианта

Ограждающая конструкция	Краевая зона	Коэффициент добавочных теплопотерь	Удельные добавочные теплопотери
Наружные стены	Угол наружной стены	0,021	0,21
	Сопряжение наружной стены с внутренними стенами	0,0531	0,52
	Сопряжение наружной стены с междуэтажным перекрытием	0,186	1,82
	Оконные откосы	0,101	0,99
	Теплопроводные включения	0,517	5,06
Окна, балконные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой	0,098	2,01
	Сопряжение коробки оконного блока с наружной стеной	0,053	1,08
Входные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой	0,098	0,06
	Сопряжение коробки дверного блока с наружной стеной	0,053	0,03
Покрытие совмещенное	Сопряжение покрытия с наружной стеной	0,252	0,22
Перекрытие теплого чердака	Сопряжение перекрытия с наружной стеной	0,252	0,23
Перекрытие над техническим подпольем	Сопряжение перекрытия с наружной стеной	0,252	0,48

Совершенствование конструктивного решения краевых зон позволяет снизить добавочные теплопотери через ограждения.

Таблица 2 – Удельные добавочные теплопотери по краевым зонам ограждений по второму варианту

Ограждающая конструкция	Краевая зона	Коэффициент добавочных теплопотерь	Удельные добавочные теплопотери
Наружные стены	Угол наружной стены	0,015	0,15
	Сопряжение наружной стены с внутренними стенами	0,0158	0,15
	Сопряжение наружной стены с междуэтажным перекрытием	0,149	1,46

Продолжение таблицы 2

Наружные стены	Оконные откосы	0,0154	0,15
	Теплопроводные включения	0,052	0,51
Окна, балконные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой	0	0
	Сопряжение коробки оконного блока с наружной стеной	0	0
Входные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой	0	0
	Сопряжение коробки дверного блока с наружной стеной	0	0
Покрытие совмещенное	Сопряжение покрытия с наружной стеной	0,127	0,11
Перекрытие теплого чердака	Сопряжение перекрытия с наружной стеной	0,127	0,11
Перекрытие над техническим подпольем	Сопряжение перекрытия с наружной стеной	0,127	0,11

Удельные потери теплоты через ограждения для указанным вариантов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Удельные теплопотери через ограждения

Ограждающая конструкция	Удельные трансмиссионные теплопотери по вариантам		
	0	1	2
Наружные стены	9,78	18,4	12,2
Окна, балконные двери	20,5	23,6	20,5
Входные двери	0,623	0,623	0,623
Покрытие совмещенное	0,862	1,18	0,958
Перекрытие теплого чердака	0,914	1,14	1,02
Перекрытие над подвалом	1,9	2,38	2,12
Итого	34,6	47,3	37,4

Область, в которой происходит искажение температурного поля на внутренней поверхности ограждения, называется зоной влияния данного теплопроводного включения. Размеры этой области зависят от конструктивного решения самого узла, условного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и других факторов. Площадь зоны влияния и коэффициент влияния определяются по температурному полю. Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения  $k_j^{ez}$ ,  $A_j^{ez}$  и  $\psi_j$  для краевых зон наружной стены

Краевая зона	Значения $k_j^{ez}$ , $A_j^{ez}$ и $\psi_j$ по вариантам					
	1			2		
	$k_j^{ez}$	$A_j^{ez}$ , м <sup>2</sup>	$\psi_j$	$k_j^{ez}$	$A_j^{ez}$ , м <sup>2</sup>	$\psi_j$
Углы наружной стены	0,309	17,2	0,021	0,221	17,2	0,015
Сопряжения наружной стены с внутренними стенами	0,336	40	0,0531	0,1	40	0,0158
Сопряжения наружной стены с междуэтажными перекрытиями	0,42	112	0,186	0,336	112	0,149
Оконные откосы	0,196	130	0,101	0,03	130	0,0154
Теплопроводные включения	0,336	389	0,517	0,05	263	0,052

Полученные данные использованы для расчета трансмиссионных теплопотерь через наружную стену за отопительный период



Таблица 5 – Общие трансмиссионные теплопотери, МДж/год, через наружную стену за отопительный период

Наименование показателя	Значение показателя по вариантам	
	1	2
Основные теплопотери	21337	21337
Добавочные теплопотери	18754	5268
в том числе через:		
углы наружной стены	449	320
сопряжения наружной стены с внутренними стенами	1133	338
сопряжения наружной стены с междуэтажными перекрытиями	3973	3173
оконные откосы	2157	328
теплопроводные включения	11042	1109
Общие теплопотери	40091	26605

На основании данных таблицы 5 определена структура теплопотерь через наружную стену для рассматриваемых вариантов краевых зон (рисунок 1).

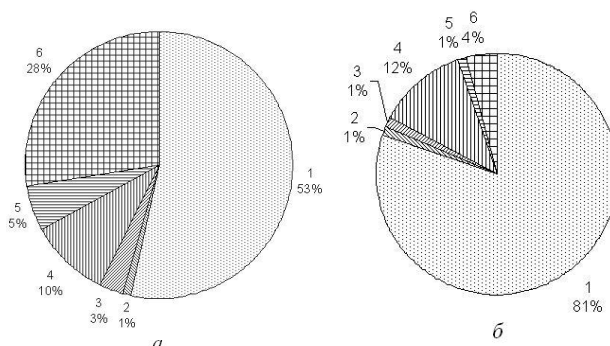


Рисунок 1 – Теплопотери через наружную стену за отопительный период (а — по первому варианту, б — по второму варианту): 1 — основные; 2 — через углы; 3 — через сопряжения наружной стены с внутренними стенами; 4 — через сопряжения наружной стены с междуэтажными перекрытиями; 5 — через оконные откосы; 6 — через теплопроводные включения

Из рисунка 1 видно, что краевые зоны оказывают существенное влияние на теплопотери наружной стены и, следовательно, должны учитываться при проектировании.

Рассмотрим оконный блок как характерный элемент светопрозрачного ограждения. В этом оконном блоке выделим термически однородные части: стеклопакеты и коробку с включенными створками.

Рассмотрим следующие варианты конструктивного решения оконного блока: 1 — с узкой коробкой; 2 — с широкой коробкой [4].

Результаты расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения  $k_j^{ez}$  и  $A_j^{ez}$  для краевых зон различных вариантов конструктивного решения элементов оконного блока

Наименование краевой зоны	Варианты конструктивного решения элементов оконного блок	$k_j^{ez}$	$A_j^{ez}$
Сопряжение стекло пакета со створкой	Однокамерный стеклопакет из обычного стекла	0,7	0,024
	То же, из стекла с селективным покрытием	0,75	0,024
	Двухкамерный стеклопакет из обычного стекла	0,45	0,044
	То же, из стекла с селективным покрытием	0,5	0,44
Сопряжение коробки с наружной стеной	Оконный блок с узкой коробкой	0,3	0,08
	То же, с широкой коробкой	0,07	0,16

Результаты расчета теплопотерь через оконный блок приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Общие трансмиссионные теплопотери, МДж/год, за отопительный период для различных вариантов оконного блока

Наименование показателя	Значение показателя по вариантам	
	1	2
Основные теплопотери	1707	1514
в том числе через:		
светопропускающую часть	1224	1225
непрозрачную часть	483	289
Добавочные теплопотери	257	186
в том числе через		
Сопряжение стеклопакета со створкой	167	148
Сопряжение коробки с наружной стеной	90	38
Общие теплопотери	1964	1700

На основании данных таблицы 4 определена структура теплопотерь для рассматриваемых вариантов конструктивного решения оконного блока (рисунок 2).

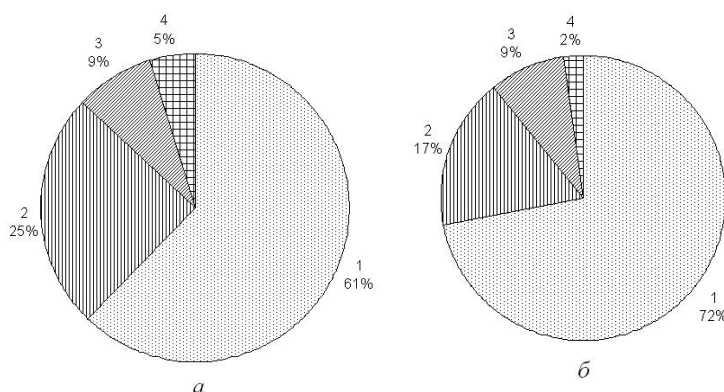


Рисунок 2 – Теплопотери через оконный блок за отопительный период (а — по первому варианту, б — по второму варианту): 1 — светопропускающая часть; 2 — непрозрачная часть; 3 — сопряжение стеклопакета со створкой; 4 — сопряжение коробки с наружной стеной

Из рисунка видно, что краевые зоны оказывают существенное влияние на общие теплопотери оконного блока (14 % по первому варианту и 11 % по второму) и, следовательно, должны учитываться при проектировании. Совершенствование конструктивного решения оконного блока путем замены узкой коробки на широкую позволяет снизить как основные, так и добавочные теплопотери. При этом общие трансмиссионные теплопотери через оконный блок за отопительный период снижаются на 13 %. Кроме того, применение оконного блока с широкой коробкой позволяет улучшить температурно-влажностный режим наружной стены в зоне сопряжения с оконным блоком

### Список литературы

1. Богословский В.Н. Отопление [Текст] / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. - М.: Стройиздат, 1991. - 735 с.
2. Корниенко, С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь через краевые зоны ограждающих конструкций / С.В. Корниенко // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 348–351.
3. Корниенко С.В. Снижение теплопотерь за счет совершенствования краевых зон ограждающих конструкций // Строительные материалы. – 2010. – №4
4. Корниенко С.В. Совершенствование конструктивного решения светопрозрачных ограждений при оценке теплопотерь // Жилищное строительство. – 2010. – № 4.

УДК 697.273.86

**Шацков Роман Олегович,**  
магистрант группы ТГВм-54а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**  
**Шаврова Юлия Александровна,**  
магистрант группы ЗТГВМ-536,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**  
**Шацков Артем Олегович,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## СИСТЕМЫ ЛУЧИСТОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*Лучистое отопление и охлаждение представляет собой один из наиболее совершенных способов обогрева и охлаждения помещений зданий различного назначения. Лучистая передача энергии при прочих равных условиях более эффективна, чем конвективная, поскольку при лучистом отоплении и охлаждении энергия беспрепятственно переносится на большие расстояния в объеме помещения, поэтому отопительные приборы можно располагать под потолком, в конструкциях ограждения. При этом водяное лучисто-конвективное охлаждение помещений по многим критериям превосходит традиционное воздушное конвективное охлаждение.*

*Ключевые слова: лучистый теплообмен, угловой коэффициент, радиационная температура, тепловой поток*

При использовании систем лучистого отопления в помещении интенсифицируется лучистый теплообмен, который играет существенную роль в формировании холодопроизводительности панелей. Это требует рассмотрения системы лучисто-конвективного теплообмена в охлаждаемом помещении. В полной постановке задачи система должна включать достаточно большое число уравнений баланса тепла на поверхностях ограждений. Решение такой системы возможно только с помощью компьютера и затруднительно для практического использования при проектировании систем. К тому же специфика условий теплообмена в помещении в ТП состоит в отсутствии развитых холодных поверхностей наружных ограждений, в результате, температуры поверхностей в помещениях оказываются достаточно близкими. Это позволяет упростить постановку задачи лучисто-конвективного теплообмена и перейти от полной системы уравнений теплообмена в помещении к ограниченной системе.

Рассмотрим упрощенное решение системы лучисто-конвективного теплообмена в помещении, оборудованном системами панельно-лучистого отопления. В решении приняты следующие допущения [1]:

1. Все поверхности ограждений в помещении, схема которых изображена на рисунке 1, объединены в три изотермические поверхности:

- охлаждающая поверхность с заданной температурой  $t_1$  и произвольной или заданной площадью  $F_1$ ,
- поверхность ограждений рабочей зоны, включающая пол и прилегающие стены высотой 2 м и имеющая температуру  $t_3$  и площадь  $F_3$ ;
- поверхность остальных ограждений с температурой  $t_2$  и площадью  $F_2$ .

2. Температура воздуха одинакова во всем объеме помещения.

3. Лучистая составляющая теплоступлений в помещение от внутренних источников равномерно распределена по поверхностям ограждений пропорционально их площади.

4. Охлаждающая поверхность может иметь произвольное расположение, в том числе и в пределах рабочей зоны.

5. Помещение окружено другими помещениями с таким же температурным режимом, при этом отсутствует теплообмен с окружающей средой. Такое допущение оправдано для теплого периода года, когда в помещении отсутствуют теплопотери через наружные ограждения.

Принятые допущения увеличивают погрешности расчетов не более, чем на 5% [2].

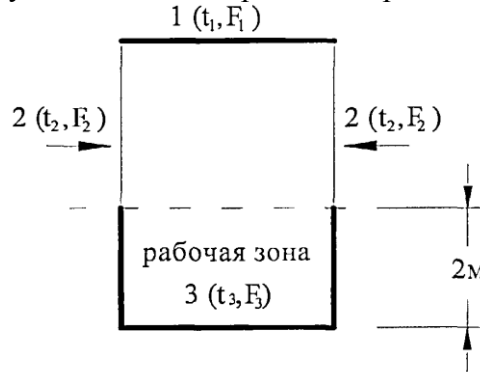


Рисунок 1 – Схема помещения к постановке задачи расчета лучисто-конвективного теплообмена в помещении при панельно-лучистом охлаждении

Система уравнений лучисто-конвективного теплообмена при двух неизвестных: температуре поверхности рабочей зоны  $t_3$  и температуре поверхности остальных (нейтральных) ограждений  $t_2$  включает два уравнения

1. Уравнение баланса конвективного тепла в помещении

$$F_2 \cdot \alpha_{k2} \cdot (t_2 - t_b) + F_3 \cdot \alpha_{k3} \cdot (t_3 - t_b) + Q_k + Q_{ПК} = 0. \quad (1)$$

2. Уравнение баланса тепла на поверхности 3

$$\alpha_{k3} \cdot (t_3 - t_b) + F_3 \cdot \alpha_{л3} \cdot (t_3 - t_b) = F_3 \cdot q_l + Q_{пл} \cdot \varphi_{1-3}. \quad (2)$$

В уравнениях 1 и 2 принято:

-  $\alpha_k$  и  $\alpha_l$  – коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена на поверхностях Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

-  $F_i$  – площадь поверхности ограждения, м<sup>2</sup>;

-  $t_b$  – температура воздуха помещения, °С;

-  $Q_k$  – конвективный тепловой поток, поступающий в помещение, Вт;

-  $q_l$  – плотность лучистого теплового потока, поступающего в помещение, Вт/м<sup>2</sup>;

-  $Q_{пл}$  и  $Q_{ПК}$  – лучистая и конвективная составляющие теплового потока, поступающего от охлаждающей поверхности, Вт;

-  $\varphi_{1-3}$  – коэффициент облученности с охлаждающей поверхности на поверхности рабочей зоны, определяемый по таблице 1.

Коэффициент конвективного теплообмена рассчитывается по формуле

$$\alpha_k = A_i \cdot \sqrt[3]{|t_b - t|}, \quad (3)$$

где  $t$  – температура поверхности, °С;

$A_i$  – коэффициент, зависящий от положения охлаждающей поверхности, принимаемый равным: 1.16 – для пола; 1.66 – для стен; 2.16 – для потолка [3].

Коэффициент лучистого теплообмена определяют по формуле

$$\alpha_{л1-3} = \varepsilon_{пр} \cdot C_o \cdot \varphi_{3-2} \cdot b = 5,15 \cdot \left(1 - \frac{F_1}{F_3} \cdot \varphi_{1-3}\right), \quad (4)$$

где  $\varphi_{3-2}$  – коэффициент облученности поверхности 2 поверхностью 3;

$b$  – корректирующий коэффициент, равный 1.05 для принятого диапазона температуры в помещении.

Плотность лучистого теплового потока равна

$$q = \frac{Q_l}{F_1 + F_2 + F_3}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{л}}$  – лучистая составляющая тепловой нагрузки на помещение, Вт.

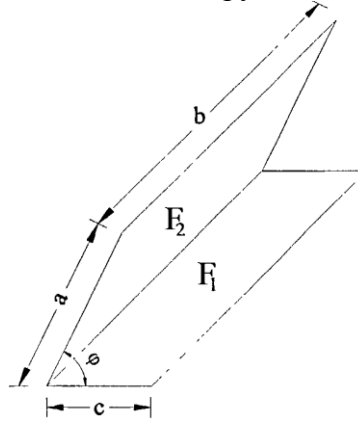


Рисунок 2 – Схема для определения углового коэффициент для двух перпендикулярных поверхностей

Для двух перпендикулярных поверхностей угловой коэффициент определяется по следующим выражениям [4]

$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi x} \cdot \left[ x \cdot \arctg \frac{1}{x} + y \cdot \arctg \frac{1}{y} - \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \arctg \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \frac{1}{4} \ln \frac{(1+x^2) \cdot (1+y^2)}{1+x^2+y^2} + \frac{x^2}{4} \ln \frac{x^2(1+x^2+y^2)}{(1+x^2)(x^2+y^2)} + \frac{y^2}{4} \ln \frac{y^2(1+x^2+y^2)}{(1+y^2)(x^2+y^2)} \right], \quad (6)$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} \varphi_{12} = \frac{1}{\pi} \left[ \arctg \frac{1}{x} + \frac{1}{4x} \ln(1+x^2) - \frac{x}{4} \ln \frac{1+x^2}{x^2} \right]; x = \frac{c}{b}, y = \frac{a}{b}. \quad (7)$$

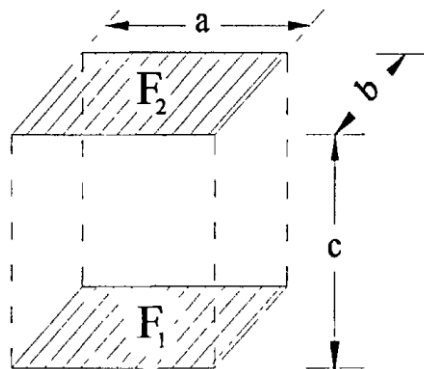


Рисунок 3 – Схема для определения углового коэффициент для двух параллельных поверхностей

Для двух параллельных поверхностей угловой коэффициент определяется по следующим выражениям [4]

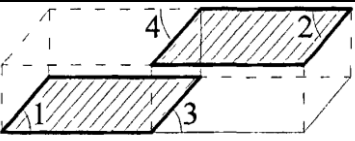
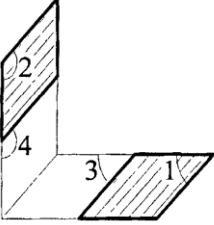
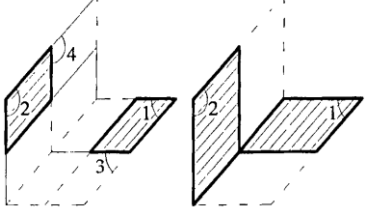
$$\varphi_{12} = \frac{2}{\pi xy} \left[ \frac{1}{2} \ln \frac{(1+x^2)(1+y^2)}{1+x^2+y^2} + y\sqrt{1+x^2} \arctg \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} \arctg \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} + x\sqrt{1+y^2} \arctg \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} - y \cdot \arctg y - x \cdot \arctg x \right]; \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \varphi_{12} = \frac{\sqrt{1+y^2}-1}{y}; \quad (9)$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} \varphi_{12} = \frac{\sqrt{1+x^2}-1}{x}, x = \frac{a}{b}, y = \frac{a}{c}. \quad (10)$$

Варианты сложного взаимного расположения поверхностей и выражения для определения углового коэффициента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты облученности сложно расположенных поверхностей

Расположение поверхностей	Значение коэффициента облученности
	$\varphi_{1-2} = \frac{1}{2F_1} \cdot [\varphi_{(1+3)-(2+4)} \cdot (F_1 + F_2) - \varphi_{3-2} \cdot F_3]$
	$\varphi_{1-2} = \frac{1}{F_1} \cdot \left[ \begin{aligned} &\varphi_{(1+3)-(2+4)} \cdot (F_1 + F_3) - \\ &- \varphi_{3-(2+4)} \cdot F_3 - \\ &- \varphi_{(1+3)-4} \cdot (F_1 + F_3) + \\ &+ \varphi_{3-4} \cdot F_3 \end{aligned} \right]$
	$\varphi_{1-2} = \frac{1}{2F_1} \cdot \left[ \begin{aligned} &\varphi_{(1+3)-(2+4)} \cdot (F_1 + F_3) - \\ &- \varphi_{1-4} \cdot F_1 - \varphi_{3-2} \cdot F_3 \end{aligned} \right]$

Решение системы уравнений (1) и (2) относительно неизвестной температуры рабочей зоны имеет вид

$$t_3 = \frac{F_3 \cdot q_l + Q_{пл} \cdot \varphi_{1-3} - \frac{K_3^l}{K_2} \cdot (Q_k + Q_{пк})}{(1 + \frac{K_3}{K_2}) \cdot K_3^l + K_3}, \quad (11)$$

Решение системы уравнений (1) и (2) относительно неизвестной температуры поверхности остальных ограждений

$$t_2 = \left(1 + \frac{K_3}{K_2}\right) \cdot t_B - \frac{K_3}{K_2} \cdot t_3 - \frac{(Q_k + Q_{пк})}{K_2}. \quad (12)$$

В формулах (11) и (12) принято дополнительно

$$K_3^l = F_3 \cdot \alpha_{л1-3}; \quad (13)$$

$$Q_{пк} = F_1 \cdot \alpha_{к1} \cdot (t_1 - t_B); \quad (14)$$

$$Q_{пл} = F_3 \cdot 5,15 \cdot (t_1 - t_3 \cdot \varphi_{1-3} - t_2 \cdot (1 - \varphi_{1-3})) \quad (15)$$

Решение системы в виде уравнений (11) и (12) позволяет определить тепловой режим помещения с листистыми охлаждающими приборами.

### Список литературы

5. Сперроу Э.М. Теплообмен излучением [Текст] / Э.М. Сперроу, Р.Д. Сесс. - М.: Энергия, 1971.-282 с.
6. Блох А. Г. Теплообмен излучением [Текст] / А. Г. Блох, Ю. А. Журавлев, Л. Н. Рыжков // Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 432 с.
7. Михеев М.А. Основы теплопередачи. - М.: Госэнергоиздат, 1956.
8. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. - М.: АВОК-Пресс, 2002. - 194 с.

УДК 725.4.055

**Золотухина Наталья Викторовна,**  
ст. преподаватель кафедры  
архитектуры и дизайна  
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ «ЗЕЛЁНЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация. В работе представлены принципы проектирования машиностроительных заводов с учетом требований «зеленых» технологий; требования «Зеленого строительства» при проектировании объектов различного назначения; суть стандарта LEED. Приведены примеры современных промышленных предприятий, выполненных по проектам с учетом требований «зелёных технологий строительства: McLaren Automotive в Великобритании, предприятие Gluserne Manufaktur в г. Дрезден, Германия и предприятие экибастузского железнодорожного кластера «Проммашкомплект» в Казахстане.*

*Ключевые слова: проектирование, экология, энергоэффективность, ресурсы, инновации, «Зеленое строительство», энергоэффективный стандарт, промышленность.*

Машиностроение - отрасль промышленности, реализующая технологии проектирования, производства, обслуживания и утилизации различных машин, механизмов, оборудования, продукции оборонного назначения и их деталей.

Слаженная и эффективная, как в экономическом, так и в техническом плане работа машиностроительного завода возможна только тогда, когда все его цеха, отделы бесперебойно производят продукцию и напрямую зависят друг от друга, как звенья одной цепи. Это возможно только тогда, когда машиностроительный завод построен по заранее продуманному проекту. Проектирование машиностроительного завода – это создание такого комплексного взаимосвязанного проекта завода, в котором были бы должным образом решены цели и задачи, связанные с его будущей производственной деятельностью.

Машиностроительные заводы по виду производства можно разделить на:

- проектируемые машиностроительные заводы с полным производственным циклом.
- проектируемые машиностроительные заводы, выпускающие заготовки для различных деталей машин.
- проектируемые машиностроительные заводы, осуществляющие обработку заготовок, полученных с других заводов и сборку машин.
- проектируемые машиностроительные заводы, занимающиеся конструированием машин из деталей, полученных на других заводах.

На сегодняшний день существуют следующие типы предприятий тяжелого машиностроения: автомобильные заводы, подшипниковые заводы, механические заводы, заводы железнодорожного машиностроения, моторные заводы, станкостроительные заводы, крановые заводы, агрегатные заводы, компрессорные заводы, заводы специального и коммунального машиностроения, судостроительные заводы, заводы сельскохозяйственного машиностроения, авиационные заводы.

Принципы проектирования машиностроительных заводов:

- прямая последовательность производимых технологических процессов;
- использование под застройку минимально необходимой площади территории;
- минимизация протяженности коммуникаций;
- обеспечение безопасности и благоприятных условий труда и перемещения рабочих по территории;
- применение в проекте построек простейшей формы, преимущественно одноэтажных и без перепадов высот;

- размещение цехов и вспомогательных помещений в одном здании в целях сокращения затрат на строительные материалы;
- применение укрупненной сетки колонн, позволяющей повысить коэффициент использования площади цеха за счет сокращения "мертвых зон" вдоль ряда колонн;
- особое внимание уделяется зонированию территории проектируемого машиностроительного завода: цеха по назначению объединяются в отдельные группы;
- применение в проекте технологий «Зеленого строительства».

Производственные здания проектируемого машиностроительного завода должны располагаться по схеме, соответствующей технологическому процессу: сырьевые базы, заготовительные цехи, обрабатывающие цехи, сборочные цехи, склады готовой продукции.

Проектирование - универсальный и самостоятельный в интеллектуальном и социокультурном отношении тип деятельности, направленный на создание реальных объектов с заданными функциональными, технико-экономическими, экологическими и потребительскими качествами. Наличие международной сертификации в проектных компаниях на проектируемые объекты, подтверждает высокую социальную ответственность организации, что является одним из весомых критериев оценки компании на внутреннем и международном рынке.

Учет принципов проектирования объектов машиностроительной промышленности выполняется студентами при курсовом проектировании по дисциплине «Конструкции промышленных зданий» при выборе объемно-планировочной и конструктивной схемы проектируемых объектов, все проектные решения проводятся с учетом также требований рейтинговой системы сертификации «Зеленого строительства» (рис. 1).

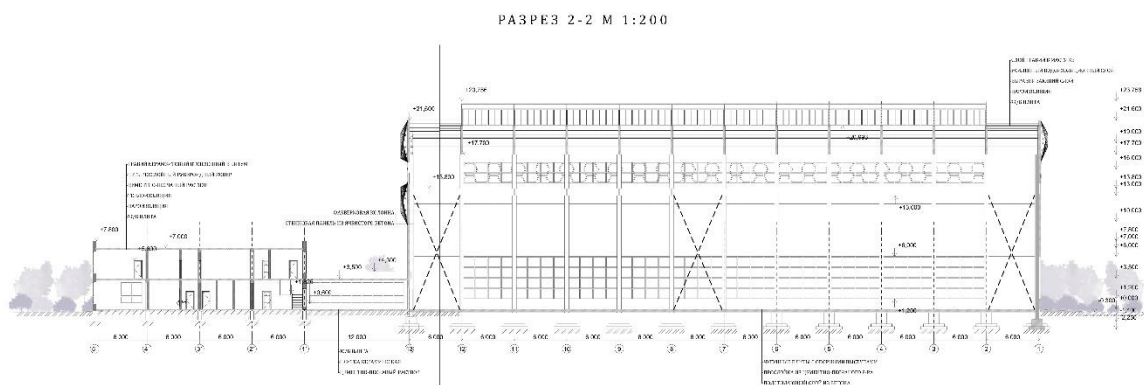
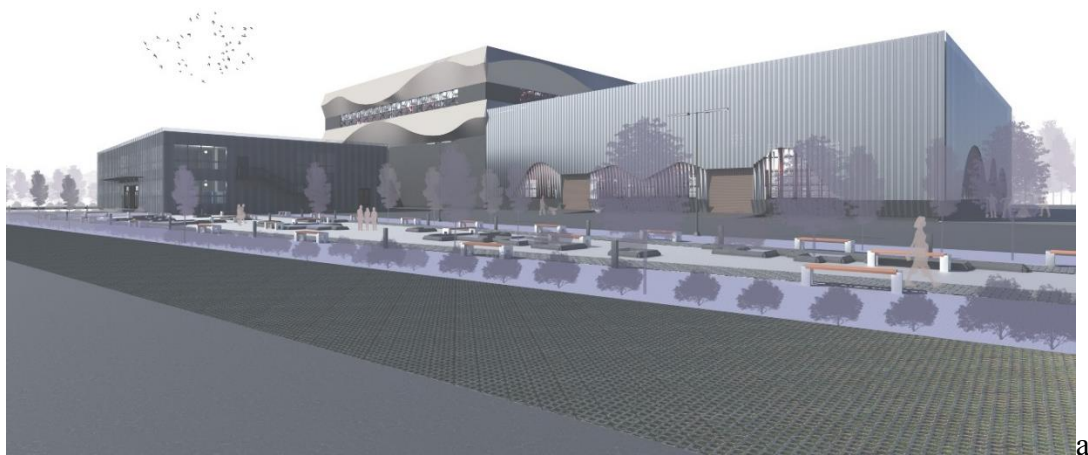


Рисунок 1 - Курсовой проект «Проектирование литейного цеха завода «Литмаш» в г. Тирасполь» студентки 3 курса Спаривак О.С. 2022-2023 уч. год; руководитель проекта Золотухина Н. В.: а- перспектива; б- продольный разрез



Основные инновации для проекта Спаривак О.С. (рис.1):

1. Использование ЧИП-технологий (Чипизация): Внедрение технологий "Интернета вещей" (IoT) и ЧИП-технологий в оборудование и инструменты цеха для мониторинга и оптимизации производственных процессов. Это может включать в себя системы предупреждения о неисправностях, планирование технического обслуживания и автоматическое управление рабочим оборудованием.

2. Системы Умного Управления Энергопотреблением: Внедрение систем умного управления, которые мониторят и регулируют энергопотребление оборудования в режиме реального времени. Это поможет снизить затраты на энергию и сделать производство более энергоэффективным.

3. Эко-дружественные Технологии: Интеграция экологически устойчивых технологий, таких как системы обработки отходов, использование экологически безопасных материалов и методов обработки для минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Интеграция данных инноваций может дать литейному цеху значительные преимущества в повышении производительности, улучшении качества и оптимизации ресурсов, что в конечном итоге способствует устойчивому и успешному функционированию предприятия.

Рейтинговая система сертификации «Зеленого строительства» - LEED была разработана в 1993 году как Зеленый строительный стандарт измерения энергоэффективности и экологичности проектов и зданий. LEED (The Leadership in Energy & Environmental Design) – «Лидерство в энергетическом и экологическом проектировании». Система LEED разработана Американским Советом по Зеленым Зданиям - United States Green Building Council (USGBC), как стандарт измерения проектов энергоэффективных, экологически чистых и устойчивых (sustainable) зданий для осуществления перехода строительной индустрии к проектированию, строительству и эксплуатации таких зданий [1].

Энергоэффективный и экологический стандарт - LEED является достаточно гибким, что позволяет применять его ко всем типам зданий, как гражданского, так и производственного назначения. Важным приоритетным преимуществом LEED является то, что стандарт работает на протяжении всего жизненного цикла здания - проектирование и строительство, эксплуатация и техническое обслуживание, обустройство арендаторов и модернизация. К тому же стандартом предусмотрена сертификация вне зоны обслуживания здания (на уровне района, в котором действует проект) [2].

Стандарт LEED v.3 вышедший в 2009 году состоит из шести разделов, которые содержат разное количество требований. Проектируемые объекты оценивают по соответствию этим требованиям и в результате оцениваемый проект получает зачетные баллы. Приведем разделы стандарта USGBC LEED 2009 (v3) и некоторые примеры требований данных разделов.

1. Прилегающая территория: выбор строительной площадки; расчет плотности застраиваемой территории и логистика; возможность повторного использования заброшенных земельных участков; создание альтернативных видов транспорта (доступ к общественному транспорту, велосипедам общего пользования, создание возможности использования энергоэффективных автомобилей, строительство зон для парковки); защита и восстановление местности от последствий ведения строительных работ; создание большого количества открытых пространств; проектирование систем сбора ливневой воды и создание условий для контроля за их эксплуатацией (объем водосбора и качество очистки); борьба с эффектом перегретого острова при условии задействования крышных пространств или иными способами; создание условий для достаточного проникновения света в помещения.

2. Эффективность использования водных ресурсов (снижение использования): исследование природного ландшафта; инновационные технологии очистки сточной воды; снижение объемов потребления воды.

3. Энергосбережение и атмосфера здания (влияние на окружающую среду): минимальное потребление энергии; основные мероприятия по организации систем охлаждения помещений; оптимизация энергопотребления; использование местных

возобновляемых источников энергии; усовершенствованная система эксплуатации объекта; выверенные расчеты и контроль за ними; зеленая энергия.

4. Материалы и ресурсная база (возможность повторного использования ресурсов): хранение и сбор пригодных для переработки материалов; переработка несущих стен, полов и крышных покрытий; переработка внутренних элементов каркаса здания; утилизация строительных отходов; переработка строительных материалов; использование быстро возобновляемых материалов; использование калиброванной, отборной древесины.

5. Обеспечение благоприятных климатических условий внутри здания, качество внутреннего воздуха: контроль за содержанием табачного дыма в воздухе внутренних помещений; мониторинг подачи свежего воздуха внутрь помещения; эффективная вентиляция; создание системы контроля поддержания качества воздуха внутри помещений (во время строительства и после сдачи в эксплуатацию); использование материалов, влияющих на снижение эмиссии CO<sub>2</sub> (материалы для уплотнения, напольные покрытия, изоляция, краски и шпаклевки, композитное дерево и проч.); контроль за содержанием источников химических и загрязняющих веществ в воздухе; управляемость систем освещения, обогрева; проектирование систем контроля за работой обогревательных приборов; проверка работы системы обогрева здания; подача естественного дневного света внутрь помещения; видовые характеристики.

6. Новые стратегии в проекте и инновации: использование инноваций в проектировании, эксплуатации, маркетинге и продвижении зеленого тренда в обществе и среди профессионалов, а также дополнительные опции оценки, характерные для того или иного региона. Стратегии и меры устойчивого развития постоянно развиваются и совершенствуются. Новые технологии постоянно появляются на рынке, и современные научные исследования влияют на стратегии проектирования зданий [1].

Система рейтинга LEED помогает создавать помещения повышенного комфорта, обеспечивает чистый воздух в помещении и достаточное естественное освещение, оптимизирует потребления электричества и воды. Например, здания, сертифицированные по LEED, потребляют на 20–30% меньше электроэнергии, что снижает расходы на коммунальные услуги и, следовательно, уменьшает воздействие на окружающую среду.

Закономерно растет спрос на сертифицированные строительные объекты, в том числе в России и странах СНГ. Рассмотрим несколько примеров современных архитектурных объектов промышленности, проектирование которых проводилось с учетом международного стандарта LEED, которые служат аналогами при курсовом проектировании.

Футуристическая фабрика McLaren Automotive (Великобритания), в основу проектирования которой была положена экологичность и гармоничность. Производственный центр находится на небольшом склоне зеленого холма (рис.2). Двухъярусное здание завода частично утоплено в землю: оно возвышается всего на 6 метров и при этом скрыто за специально высаженными деревьями. Таким образом, производственные линии сохраняют свою прохладу летом и тепло зимой.



*Рисунок 2 - McLaren Automotive Limited — британская частная компания*

Крыша здания оборудована системой сбора дождевой воды, питающей зеленые насаждения вокруг. Проект здания предполагает солнечную батарею на крыше, энергия которой используется в производстве (рис.3). Архитектурное решение позволило снизить затраты на кондиционирование и вентиляцию - свежий воздух циркулирует свободно без существенных затрат энергии.

Специально для этого производственного центра словенская компания Тримо разработала новый дизайн фасадов Qbiss One с идеально гладкой поверхностью. Фасадная система Qbiss является эстетичным и функциональным решением: снаружи это водонепроницаемая, самонесущая система, которая изолирует здание от негативного влияния британского климата, в то время как внутренняя часть фасада обеспечивает огнестойкость и элегантную отделку, которая прекрасно согласуется с духом McLaren (рис.1).

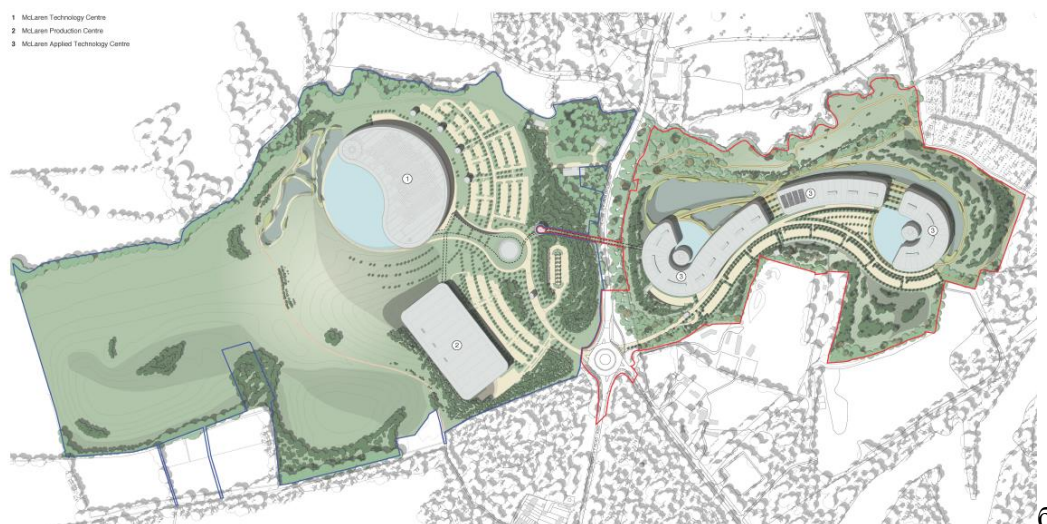
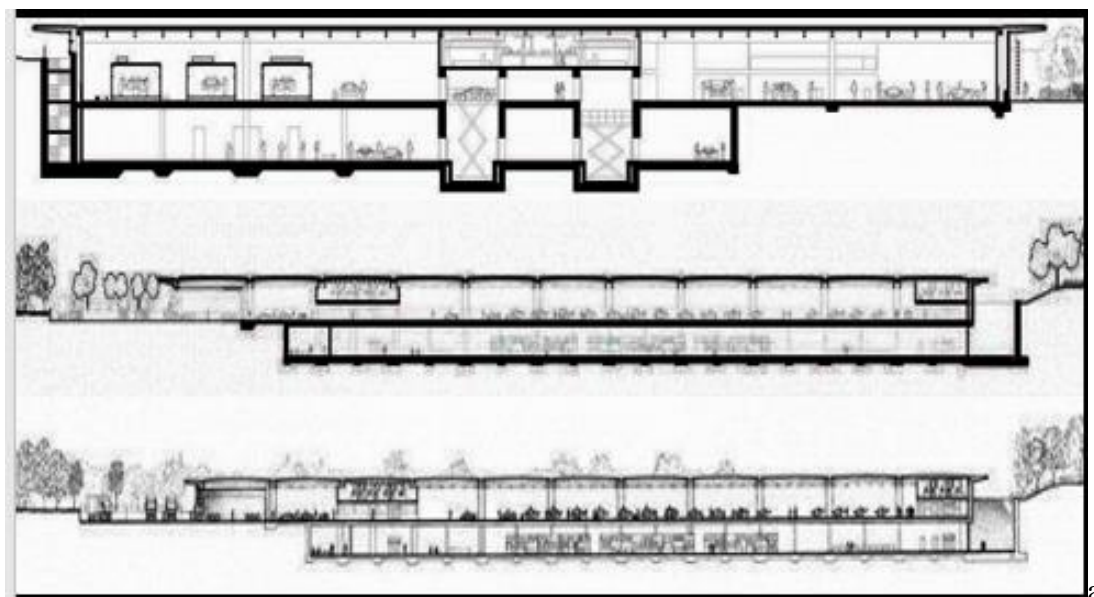


Рисунок 3 - McLaren Automotive Limited — а разрез по цеху; б – генплан

В основу проекта была положена экологичность и гармоничность. Ведь все, что делает McLaren построено на следующих базовых принципах: хороший дизайн, качественные инженерные разработки и эффективное производство.

Предприятие Gluserne Manufaktur в г. Дрезден (Германия), в основу проектирования которой была положена экологичность, комфортность технологического процесса, открытость промышленного объекта, вписанного в городскую среду. Название предприятия

Gluserne Manufaktur переводится с немецкого как "прозрачная фабрика", что вовсе не случайно, ведь практически все стенки и перегородки здания сделаны из стекла, что позволяет потенциальным клиентам и просто любопытным туристам проследить за сборкой автомобилей на всех стадиях (рис.4).

Стеклянный завод был разработан мюнхенским архитектурным бюро Гюнтера Генна. Завод в Дрездене задумывался не как очередное стандартное предприятие, а как нечто неповторимое, и машины там выпускаются соответствующие. Volkswagen Phaeton - первый автомобиль представительского F-класса за все 70 лет существования Volkswagen. Прототип автомобиля Concept D дебютировал в 1999 году на Франкфуртском автосалоне.



*Рисунок 4 - Gluserne Manufaktur в г. Дрезден, Германия*

Расположение завода практически в центре готического Дрездена, пути подвоза различных частей сборки к заводу требовали бы большого количества грузового транспорта, что вызвало бы недовольство городских властей и самих горожан. Однако это было устранено проектным предложением привозить запчасти не на грузовых машинах, а на специальных грузоперевозочных трамвайчиках и тем самым практически не заметно для окружающих (рис.5).



*Рисунок 5 - Грузоперевозочные трамвайчики предприятия Gluserne Manufaktur в центре Дрездена*

При проектировании внутреннего рабочего пространства «стеклянной фабрики» не забыли и о сотрудниках. В цехах создано специальное освещение, которое благодаря оптимальной длине волны обеспечивает минимальную утомляемость работников (рис.6). В помещении играет приятная музыка, созданная по эксклюзивному заказу Volkswagen известным саунд-дизайнером Яри ван Голем. Она включает в себя более 120 звуков, сопровождающих производство каждого Volkswagen Phaeton.



*Рисунок 6 - Цех Gluserne Manufaktur в г. Дрезден*

Флагманское предприятие кластера – ТОО «Проммашкомплект» – построено «в чистом поле» в 2012 году (строительство началось в 2010 году). Запуск полного цикла производства железнодорожных колес в 2019 году позволил Казахстану сразу выйти на международный рынок. В 2021 году в Экибастузе был запущен новый цех по производству клемм (рис.7).



*Рисунок 7 - Цех ТОО «Проммашкомплект» в г. Экибастуз, Казахстан*

«Заводы кластера изначально проектировались с акцентом на инновационные решения в области энергосбережения, утилизации отходов и на минимизацию вреда для окружающей среды. Для их оснащения закуплено высокотехнологичное промышленное оборудование ведущих европейских производителей, имеющее действующие международные сертификаты по энергоэффективности и экологичности, а примененные при строительстве инновационные технологии в области энергосбережения позволили достичь существенных результатов.

Например, в горячем цеху на ТОО «Проммашкомплект», где стальные заготовки проходят высокотемпературную обработку, раскаленные газы из печей направляются на специальную теплоутилизационную установку – экономайзер, который нагревает воду, используемую для заводской системы отопления и водоснабжения. Попутно эта же горячая вода проходит через станцию регазификации предприятия, где отдаваемое ей тепло задействовано в технологическом процессе преобразования газа из жидкого в газообразное состояние.

100 % потребляемой энергии заводами экибастузского железнодорожного кластера обеспечивается за счет электричества и наиболее чистого ископаемого топлива – газа, а все технологические процессы изначально настроены на минимизацию отходов и предотвращение вредных выбросов, что делает кластер одним из самых экологически нейтральных машиностроительных комплексов в СНГ и Европе в целом.

Главные производственные отходы металлообрабатывающего производства – стружка и другой металлический мусор – в полном объеме сдаются в металлолом и перерабатываются на металлургических предприятиях Казахстана. Окалина и шлам, которые остаются в результате охлаждения раскаленных деталей и оборудования, вместе с водно-графитной смесью поступают на специальную перерабатывающую установку, где эта смесь жиров, масел и грязи отстаивается, подвергается электрофлотации и воздействию специальных очищающих химреагентов. Более 90 % воды, являющейся неотъемлемым ресурсом для технологического процесса на предприятии, после прохождения водоочистной установки направляется снова в контур производства, и лишь около 10 % естественной убыли воды компенсируется за счет внешних источников водоснабжения.

Концентрированный шлам централизованно передается в полном объеме на специализированные предприятия Казахстана, где обеспечивается выполнение всех нормативов и экологических требований по утилизации таких отходов, а вода, которую все же приходится в небольшом объеме сливать в канализационную систему, проходит обработку на еще одном очистном сооружении, где она доводится до необходимых норм для обычных сточных вод. Весь производственный мусор собирается отдельно и централизованно вывозится с территории» [3].

Среди сертифицированных по стандартам «зеленых технологий» зданий не производственного назначения в РФ - бизнес-центры Ducat Place III и «Japan House», «Гиперкуб» в Сколково, вокзал «Адлер» и Большой ледовый дворец в Сочи, офис «Сименс», Passive House в Южном Бутово и многие другие.

Из вышеизложенного можно сделать четкий вывод, что получение сертификатов подтверждает ответственные методы строительства и повышает репутацию всех участников проекта, да и самого объекта строительства. Так что, спрос на «зелёные» проекты с учетом международного стандарта LEED будет расти и дальше.

Результат проектирования машиностроительного завода напрямую зависит от компетенции специалистов, выполняющих данную задачу. При грамотном подходе к процессу проектирования можно добиться высочайших результатов. При этом реализованный проект машиностроительного завода будет не только бесперебойно работать, обеспечивать отрасль качественной продукцией, но и приносить высокую прибыль при минимальном внешнем контроле.

В проектных решениях при курсовом проектировании студенты в обязательном порядке должны учитывать инновационные технологии для повышения эффективности, снижения затрат, улучшения безопасности и экологической устойчивости.

### **Список литературы**

1. Экологические стандарты в строительстве-LEED USGBC // Медиаресурс EcoRussia.info URL: <https://www.icsgroup.ru/green/ecostandards/leed.php> (дата обращения 28.03.2024).
2. Обзор американской системы зеленой сертификации для зданий и помещений LEED // Медиаресурс Green Office Club URL: <https://www.ecogreenoffice.club/obzor-leed> (дата обращения 25.03.2024)
3. Экологическое производство железнодорожных колес ТОО «Проммашкомплект»// Медиаресурс Вагон-груз URL: <https://wagon-cargo.ru/> (дата обращения 28.03.2024)

УДК 691.322

**Золотухина Наталья Викторовна,**  
ст. преподаватель кафедры архитектуры и дизайна  
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко;  
**Дудник Анна Вячеславовна,**  
ст. преподаватель кафедры  
промышленное и гражданское строительство  
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко  
(аспирант ФГБОУ ВО «БГИТУ» г. Брянск, РФ)

## ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ – СЫРЬЕВАЯ БАЗА ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ И БЕТОНОВ

*Аннотация.* Рассматривается проблема использования техногенных отходов - золошлаков для производства строительных материалов.

*Ключевые слова:* ресурсосбережение, отходы производства, бетон, модифицированный бетон, золошлаковая смесь, многоперевальные сухие продукты

Строительная отрасль меняет свои задачи с учетом направлений концепции устойчивого развития, важнейшей из которой является разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, предусматривающих широкое применение местного минерального сырья и техногенных продуктов.

Приблизительно 2/3 вскрышных и отвальных пород добывающих отраслей пригодны для производства массовых строительных материалов. Реально же в России и в странах постсоветского пространства используется менее 5 %.

В золоотвалах ТЭС РФ хранится около 1,3 млрд. золошлаков. Дополнительно к этому электростанции производят до 30 млн. тонн ежегодно, из которых используется всего 3 млн, в том числе в строительстве и производстве строительных материалов – всего 3-5 %. Под хранение энергетических ЗШО отчуждено около 20 тыс. кв. м земельных участков. Экологически вредные щелочные растворы из хранилищ попадают в грунтовые и поверхностные воды. Затраты на эксплуатацию золоотвалов и аренду земли под них значительны, к тому же очень высоки затраты ТЭС на экологические платежи, которые составляют от 15 до 25 млн. рублей в год за каждые 50 тыс. т., размещенных на золоотвалах ЗШО.

Золошлаковые отходы и породы шахтных отвалов по химическому, гранулометрическому и фазово-минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью. Использование золошлаковых отходов, как техногенное сырье в промышленности строительных материалов - один из стратегических путей решения экологической проблемы по улучшению состояния природной среды в зоне работы ТЭС и угольно-промышленных районов [1-3].

В развитых странах Западной Европы, Азии и Америки использованию подлежит от 40 до 100% золошлаков от текущего выхода. Эти страны проводят государственную политику, стимулирующую их использование. К примеру, в Польше резко повышена цена на землю под золоотвалы и поэтому ТЭС доплачивают потребителям зол для снижения затрат на их хранение; в Нидерландах золоотвалы вообще под запретом; в Германии предпродажное хранение зол осуществляется только в силосах; в Китае доставляют золы потребителям бесплатно; в Болгарии также зола реализуется без уплаты за нее; в Великобритании действуют специализированные фирмы по сбыту зол и шлаков.

В РФ и в частности в нашем регионе использование золы ТЭС в строительстве и других отраслях сдерживается целым рядом негативных факторов:



-невозможность переработки ЗШО энергетиками в стабилизированный продукт, соответствующий ГОСТам и СНиПам, традиционное предложение ЗШО с очень нестабильными физико-химическими характеристиками;

-отсутствие на ТЭС, как например в Германии, силосов на двух- трехсуточную емкость для усреднения в них физико-химических характеристик золы и накопительные силосы для хранения и отгрузки золы;

-отсутствие у потребителей устройств для приемки и хранения золы;

-неразвитость инфраструктуры налаживания транспортного сообщения между ТЭС и производителями строительных материалов, что приводит к большим затратам на перевозку;

-отсутствие обязательных государственных технико-экономических законодательных документов и стимулов на применение зол предприятиями строительства и производства строительных материалов, сельского хозяйства и других отраслей.

В прежние годы до распада Советского союза, в стране вопросами утилизации золошлаковых материалов занимались свыше 400 научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций. Было разработано около 300 различных технологий переработки ЗШО по 23 направлениям, соответствующим мировому уровню. Например, технология введения 100-200 кг активной золы на 1 м<sup>3</sup> бетона дает возможность экономить до 100 кг цемента. Шлаковый песок пригоден для замены природного песка, а шлаковый щебень – в качестве крупного заполнителя. Применение зол улучшает формовочные свойства бетонных и растворных смесей и качество поверхности изделий, снижает плотность и теплопроводность бетона, что особенно важно для легких и ячеистых бетонов. Изготовление золоемких бетонов возможно с полным отказом от применения природных заполнителей, однако основной целью применения зол в бетоне является экономия цемента.

Исходные позиции предлагаемой системы резкого увеличения объемов использования ЗШО на ТЭС основаны на следующем:

-продукты на основе золошлаков должны стать источником инвестиций на техническое перевооружение ТЭС и покрытия экологических платежей на содержание золоотвалов;

-на площадках или вблизи ТЭС должны производиться многопередельные сухие продукты на основе золошлаков (бесклинкерные и малоклинкерные вяжущие, шлаковый песок, щебень, сухие строительные смеси и др.) с использованием технологий перемешивания, дробления, помола и расфасовки с высококонкурентной рыночной ценой, в 20-40 раз превышающей отпускную цену ЗШО;

-соответственно доля транспортной составляющей в рыночной цене многопередельного золошлакового продукта должна снизиться в 20-40 раз по сравнению с долей транспортных затрат в цене ЗШО;

-рентабельность предлагаемых технологий производства многопередельных продуктов из золошлаков на ТЭС значительно превышает рентабельность производства самой электроэнергии;

-многопередельные продукты на основе зол по своей конкурентоспособности позволяют ориентироваться на рынки всей РФ, стран СНГ и дальнего зарубежья, а не быть привязанным только к потребителю в радиусе максимум 150 км;

-ЗШО, как товарный продукт и сырье для многопередельного золошлакового продукта, сами по себе ничего не стоят, т.к. расходы на производство ЗШО, их транспортировку и хранение на золоотвалах входят в себестоимость электроэнергии ТЭС и оплаченные ее потребителями через тарифы на электроэнергию;

-расфасованные многопередельные продукты на основе золошлаков, доступны длительному хранению в складских помещениях на ТЭС без снижения своих потребительских свойств.

Перечень сухих золошлакопродуктов высокой потребительской стоимости для производства из ЗШО на многопередельных модульных заводах, устанавливаемых на площадках или вблизи ТЭС:

1. Сухие золошлакостойкие вяжущие на основе кислых, ультракислых и высокоосновных зол ТЭС;
2. Сухие бесклинкерные вяжущие на основе высокоосновных зол КАТЭКа;
3. Мелкодисперсный песок на основе отсева золы из форкамер;
4. Мелко-, средне- и крупнозернистый песок на основе дробленного шлака;
5. Многофракционный щебень на основе дробленного шлака;
6. Сухие строительные смеси для растворов различного назначения (кладочные, штукатурные, шпаклевочные, клеевые, гидрофобные, наливные и т.д.) на основе продуктов, перечисленных в пунктах с 1 по 4;
7. Сухие бетонные смеси различного назначения на основе продуктов, перечисленных в пунктах с 1 по 5;
8. Удобрения для сельского хозяйства;
9. Раскислители кислых почв, особенно Нечерноземья, на основе высококальциевых зол углей КАТЭКа;
10. Подстилающие сухие подсыпки из высококальциевых зол углей КАТЭКа, обладающих мощной гидратационной теплоемкостью с температурой 80-90°C, высокоэффективных при строительстве автомобильных дорог из монолитного бетона в условиях относительно низких положительных температур;
11. На принципах продукта пункта 10 – изготовление одноразовых нагревателей различного назначения для бытовых, производственных целей и нужд МЧС, использующих мощную гидратационную энергию при затворении водой;
12. Зольная микросфера многоцелевого использования;
13. Усредненная по физико-химическим характеристикам за счет смешивания сухая зола для добавки в бетоны, растворы, для производства шлакопортландцемента на цементных заводах.

В соответствии с ГОСТ 25592-2019 [5]: «рациональные области применения золошлаковых смесей (ЗШС), а также техногенного сырья и материалов, которые могут быть получены при предварительной подготовке ЗШС при изготовлении тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов для сборного и монолитного строительства устанавливаются в зависимости от вида ЗШС, ее насыпной плотности, удельной поверхности и химического состава зольной и шлаковой составляющих».

Прибыль от производства золошлаковых продуктов на площадках ТЭС может составить:

- от замены клинкерного вяжущего (цемента) на смешанное мелкоклинкерное зольное вяжущее – около 300 руб. РФ на 1 т (опыт ОАО «Хакасстройматериалы» с использованием золы Абаканской ТЭС);
- то же бесклинкерное вяжущее на основе высокоосновных зол КАТЭКа - 500 руб. РФ на 1 т;
- производство золошлакового песка - 80 руб. РФ на 1 т;
- производство шлакового щебня (на основе опыта «Кузбасэнергострой») - 200 руб. РФ на 1 т;
- производство золошлакового песка - 80 руб. РФ на 1 т.

Прибыль от снижения расходов на собственные нужды ТЭС, связанных с снижением объемов складирования ЗШО в золоотвалах (экологические платежи, эксплуатационные затраты) за счет производства и отгрузки многопередельных золошлакопродуктов потребителям – примерно 300-400 руб. РФ за 1 т.

В качестве базовой основы для производства вышеперечисленных продуктов может служить модульный завод сухих строительных смесей, разработанный в рамках программы «Стройпрогресс» ЗАО «Научно-производственная фирма Стройпрогресс-Новый век» и выпускаемый предприятием ООО «Стройтехника» в г. Донской Тульской области [6,7]. Достоинством является возможность установки вблизи ТЭС «батарею» из модульных заводов, неограниченно наращивать производительность по потребности.

В последние годы накоплен значительный опыт по применению отходов теплоэнергетики, особенно зол и шлаков, в качестве наполнителей и минеральных добавок в бетонах [3,4,8 и др.].

При изготовлении тяжелых, легких бетонов и строительных растворов золы следует применять в целях экономии цемента, заполнителей, улучшения технологических свойств бетонной и растворной смесей, а также показателей качества бетонов и растворов.

Оптимальное содержание золы в тяжелых, легких, ячеистых бетонах, сухих строительных смесях и строительных растворах устанавливается в результате подбора составов на конкретных материалах при условии обеспечения требуемых показателей качества бетона и раствора в изделиях, конструкциях и коррозионной стойкости арматуры. Для повышения эффективности применения золы в бетонах применяют химические добавки по ГОСТ 24211.

В формировании эксплуатационных свойств многих строительных материалов (цемента, бетона, растворов, керамики) вместо традиционного минерального сырья, благодаря большому количеству проведенных научных исследований, могут быть высокоэффективно использованы отходы («хвосты») горно-обогатительных комбинатов, содержащие силикаты и гидросиликаты магния, обладающие высокими техническими свойствами. Запасы данного техногенного сырья значительны, ежегодный прирост продуктов добычи и обогащения различных руд превышает 150 млн. т, а в отвалах хранится около 4,5 млрд. т [7].

Очень перспективным направлением является производство сухих растворных и бетонных смесей с использованием попутных продуктов обогащения горно-обогатительных комбинатов: вяжущее на основе магнезиального сырья и наполнитель – песок из попутных продуктов обогащения руд.

Магнезиальные породы продуктов обогащения руд являются очень перспективным сырьем для производства многих видов композиционных материалов различного назначения.

### **Список литературы**

1. Баженов Ю. М., Демьянов В. С., Калашников В. И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
2. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
3. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение и технологии строительных материалов: учебное пособие / Н.И. Буравчук. - Ростов н/Дону: ЮФУ, 2009. - 224 с.
4. Баженов Ю.М., Муртазаев С.А.Ю., Эффективные бетоны для строительных и восстановительных работ с использованием бетонного лома и отвальных зол ТЭС // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 124-127.
5. ГОСТ 25592-2019 Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019
6. Линия по производству сухих строительных смесей. Сайт компании CORINMAC [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.corinmac.com/ru>
7. Золошлаки в производстве строительных материалов. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://newchemistry.ru/printletter>
8. Золотухина Н. В., Лукутцова Н. П., Исследования влияния микронаполнителя - золы уноса МГРЭС на свойства мелкозернистого бетона. Материалы междунар. науч.-практ. конференции «Инновации в строительстве-2020» БГИТУ, 2020 с. 96-103
9. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Соболева Г.Н., Золотухина Н.В., Обыденная А.А. Композиционный наполнитель для легких бетонов с использованием хризотилцементных и золошлаковых отходов // Строительные материалы. 2021. № 8. с. 53-59

УДК 692.82

**Золотухина Наталья Викторовна,**  
ст. преподаватель кафедры архитектуры и дизайна  
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко;  
**Чудина Татьяна Васильевна,**  
заведующая кафедрой архитектуры и дизайна  
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко

## **ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ОКОННЫХ ПРОЕМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОМФОРТ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

*Аннотация. В статье представлены технологии изготовления окон, обеспечивающие комфортные условия обитания и снижение энергопотребления климатотехники.*

*Ключевые слова: здание, ограждающие конструкции, заполнение проемов, окна, снижение энергопотребления, комфортные условия, микроклимат*

Окна составляют необходимую принадлежность каждого жилого дома и почти каждого здания другого типа. Они служат для освещения помещений естественным светом и для их проветривания. Заполнение оконных проемов состоит из оконных коробок, оконных переплетов с остеклением и подоконных досок. Со стороны фасада здания устанавливают металлические сливы. Оконная конструкция должны создавать визуальную и звуковую изоляцию, хорошую теплозащиту и иметь эстетичный внешний вид. Чтобы обеспечить все эти функции, необходимо спроектировать и выполнить заполнение оконных проемов с использованием только качественных материалов [1].

Окна в определенном качестве являются элементом уюта в доме. Окна создают климатический и зрительный комфорт, защищают от ветра и осадков, излишнего шума, служат предметом выражения дизайнерских и архитектурных идей, обеспечивают безопасность и т.п [2].

Постоянный рост цен на энергоносители и услуги ЖКХ провоцирует всё большие расходы на платежи за тепло в квартирах жилых зданий и помещения в общественных зданиях. Именно поэтому энергосбережение становится всё более актуальной темой для граждан нашего региона и других стран постсоветского пространства.

При этом наибольшие потери тёплого воздуха в помещениях зданий происходят через окна. Поэтому, очень эффективным вариантом сохранить тепло в жилом помещении становится установка энергосберегающих окон.

Примерно до конца прошлого столетия при заполнении оконных проемов в здании господствовало применение простых рам со стеклом, которые не могли обеспечить должной теплозащиты и шумоизоляции.

Современные окна отличаются от традиционных прежде всего схемой остекления: используются герметичные стеклопакеты, чаще всего заполнением в которых выступает инертный газ. Даже самый простой вариант – однокамерный стеклопакет обеспечивает многократное снижение теплопотерь через окна, в особенности если одно из стекол покрыто специальной пленкой.

Конструкции заполнения оконных проемов претерпели ряд существенных изменений. Профили часто имеют несколько периметров уплотнения, исключающих возникновение сквозняков и проникновение пыли.

На сегодняшний день для изготовления оконных профилей применяются следующие материалы – древесина, алюминий, ПВХ, стеклопластик и различные комбинации этих материалов [1].

Основные технические, функциональные и архитектурные требования к окнам такие как, надежность, долговечность, удобство использования, эстетичность напрямую зависят от

качества оконного профиля [3]. Характеристики наиболее распространенных материалов для оконных профилей приведены в таблицах 1-3.

*Таблица 1.*

**Деревянные окна**

<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Высокая прочность древесины при небольшой объемной массе обеспечивает высокий коэффициент конструктивного качества	Наличие в древесине пороков
Низкая тепло- и звукопроводность	Подверженность гниению и поражению биодеструкторами
Высокая морозоустойчивость	Гигроскопичность
Легкость в обработке	Горючесть
Экологичность	Необходимость в периодическом уходе
Привлекательный внешний вид натурального материала	Необходимость проветривания или использования устройств для приточной вентиляции
Ремонтопригодность	Высокие требования к квалификации и технологиям производителей и установщиков окон

Существуют также комбинированные профили, в которых сочетаются различные материалы – дерево и алюминий (медь); алюминий, дерево и пластик; стеклопластиковые. Какому же из материалов отдадут предпочтение при выборе заполнения оконных проемов в доме? А выбор отдается тому материалу, который наиболее соответствует требованиям, традиционно предъявляемым к окнам – тепло, комфортно, тихо и безопасно. Анализ популярности окон, изготовленных из различных материалов, показывает следующее.

*Таблица 2.*

**Алюминиевые окна**

<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Практически неограниченная долговечность	Производство алюминия – энергоемкий и дорогостоящий процесс
Высокая прочность при низком удельном весе	Возможность протекания электрохимических реакций
Устойчивость к коррозии, деформации	Высокая теплопроводность
Отсутствие особого ухода	Необходимость проветривания или использования устройств для приточной вентиляции
Возможность изготовления окон больших размеров	
Самая лучшая ремонтпригодность среди других типов окон	
Большие возможности в области дизайна	

В странах Северной Америки (США, Канада, Мексика) до середины 80-х годов прошлого века в новых жилых домах около половины окон применялись с алюминиевыми рамами. Но постепенно произошло вытеснение этого материала для профиля на древесину и ПВХ. К середине 90-х годов на деревянные оконные профили приходилось около 50%, на профили из ПВХ примерно 30%, а на профили из алюминия остальное количество.

В странах западной Европы во второй половине 90-х годов прошлого столетия распределение по выбору материала для оконных профилей значительно, чем в странах Северной Америки. Например, в Германии в этот период на долю окон из ПВХ-профиля

приходилось почти 52%, на долю деревянных профилей чуть более 25% рынка, на долю алюминиевых профилей чуть более 18%, а уже на оставшуюся долю немного более 3% приходились комбинированные профили из древесины и алюминия. Спрос в материале на оконные профили также зависит от предложения, которое напрямую зависит от возможностей ресурсной базы государства. К примеру, в Финляндии, где технология обработки древесины очень высока и дерево является традиционным и доступным материалом, окна с профилями из дерева преобладают, всего небольшую долю составляют комбинированные деревянно-алюминиевые профили.

*Таблица 3.*

Пластиковые окна

<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Долговечность	Необходимость проветривания или использования устройств для приточной вентиляции
Устойчивость к коррозии, ко всем видам метеорологических воздействий (особенно важно в условиях повышенной влажности)	
Герметичность всех швов и стыков	Относительно высокие требования к квалификации и технологиям производителей и установщиков окон
Не требует дополнительной отделки (во время всего срока эксплуатации сохраняет первоначальную окраску)	
Высокие показатели по теплоизоляции и звукоизоляции	
Не требует специального ухода	
Отсутствие проблем, связанных с утилизацией отходов производства	
Высокая технологичность производства	

В России и странах постсоветского пространства во второй половине 90-х годов прошлого столетия подавляющее большинство из оконных профилей составляли традиционные деревянные окна старого образца. С началом 21 столетия активно стала производиться замена оконных блоков при реконструкции на новые современные виды профилей, а при строительстве новых объектов использование только современных профилей из различных материалов. На долю окон из ПВХ-профиля приходится больше половины рынка, четверть на долю современных деревянных профилей, чуть менее шестой части рынка завоевали алюминиевые профили, а на оставшуюся долю приходятся комбинированные профили из древесины и алюминия.

В отличие от дерева, алюминий и пластик – долговечные материалы (табл.4). Более того пластиковый профиль после 40-50 лет может быть переработан для вторичного использования. Такой рециклинг применяется для производства внутренних стенок из ПВХ-профилей. К тому же очень важно учесть, что, покупая окно, которое можно будет в будущем переработать повторно, потребитель вносит свой вклад в дело сохранения окружающей среды.

*Таблица 4.*

Сравнительные характеристики основных профильных материалов

	Дерево	Алюминий	ПВХ
Срок эксплуатации	20-30 лет	до 40 лет	до 50 лет
Теплопроводность	низкая	высокая	низкая
Пожароопасность	высокая	низкая	низкая
Экологичность	экологичный	экологичный	экологичный
Приблизительная стоимость (доллар США /1кв.м)	350-500	200-350	50-150

Касаемо главного фактора по поддержанию микроклимата в помещении – теплопроводности, то сразу можно сказать, что алюминий очень проигрывает древесине и ПВХ. Деревянные и пластиковые конструкции профилей имеют примерно одинаковое сопротивление теплопередаче, но при этом ПВХ-профиль почти вдвое дешевле на рынке (табл.4).

Анализ приведенных данных показывает, что по-настоящему хорошие деревянные окна могут сегодня позволить себе только состоятельные люди. Окна из ПВХ-профиля значительно дешевле, что позволяет их применять большому количеству населения, как при строительстве новых домов, так и при замене старых окон при ремонтных работах. Не только низкая стоимость является залогом успеха и частого применения окон из профилей ПВХ, но и положительные качества – высокая шумоизоляция, хорошая теплозащита, безопасность и минимальные эксплуатационные расходы. Алюминиевые профили более зарекомендовали себя при остеклении балконов, лоджий и других более крупных конструкциях, чем в заполнении оконных проемов в гражданских зданиях.

Уровень экологичности материалов зависит от нескольких факторов. Во-первых, оценивается потенциальная опасность для человека, во-вторых – вред, приносимый окружающей среде во время производства, эксплуатации и утилизации конструкций. Дерево – природный, экологически чистый материал, однако для получения древесины вырубке подлежат большие лесные массивы, при этом нарушается природный баланс, который опосредованно воздействует на изменение климата. Древесина не поддается повторной переработке, в отличие, например от ПВХ. В настоящее время в странах западной Европы все больше ПВХ-изделий подвергается рециклингу, который особенно выгоден, если продукты используются в долговременных целях, что как раз является важным фактором для строительной отрасли. По данным независимого норвежского статистического агентства Det Norske Veritas, подтверждено снижение вредных выбросов в результате производства ПВХ в европейских странах, несмотря на рост его производства в целом. А главным аргументом в пользу безопасности поливинилхлорида является то, что в Европе, РФ и странах постсоветского пространства использование ПВХ-профилей в заполнении проемов разрешено в детских, школьных и медицинских учреждениях.

С начала 2000-х годов при производстве ПВХ-профилей в качестве стабилизаторов вместо свинца, который содержится в ПВХ в биологически пассивном состоянии и не наносит вреда, широко используются экологически безвредные соединения кальций-цинк (Ca-Zn). Данную технологию, получившую название green line, внедрил концерн Profine GmbH – производитель профилей марок КБЕ, ТРОКАЛЬ, Кеммерлинг.

В условиях обостряющегося энергоэффективного кризиса среди требований, предъявляемых к окнам, высокую актуальность приобретают сбережение в здании тепла, а также защита помещений от чрезмерного воздействия солнечного излучения.

В октябре 2003 года в РФ принят и введен в действие СНиП 23-02-03 «Тепловая защита зданий», в Приднестровье обновление норматива взамен СНиП 11-3-79 был введен в действие СНиП ПМР 23-03-2011 «Тепловая защита зданий» в марте 2011 года. Новые нормы отличаются от старых как по своей структуре, так и по устанавливаемым критериям теплозащиты, методам контроля, характеру и уровню энергоаудита. При этом они предоставляют более широкие возможности в выборе технических решений и способов соблюдения нормируемых параметров.

Выбранное направление развития нормативной базы соответствует общим европейским и мировым тенденциям. Например, серьезным толчком в развитии строительных технологий в Европе стало принятие EnEV 2002, применение которого должно сократить потребление энергии примерно на 30 %. Принятие EnEV в Германии привело к логическому продолжению развития оконных ПВХ-конструкций, начинавших свою историю с одно- и двухкамерных профильных систем, до трех- и многокамерных профильных систем.

Повышение сопротивления теплопередачи в оконных системах достигается изменением конструкции стеклопакетов (увеличение количества камер более трех и совершенствования

профильных систем с шириной не менее 70 мм, увеличение ширины воздушных прослоек, переход на стекла с энергосберегающими покрытиями) (рис. 1). Совершенствование профильных систем для производителей окон не приводит к повышению себестоимости продукции, а только к повышению качества и спроса на более современные профильные оконные системы из ПВХ.



Рисунок 1 - Работа обычного и энергосберегающего стеклопакета

В приднестровском регионе высокую актуальность приобретают: зимой – сбережение в зданиях тепла в осенне-зимний период, а в летний период – защита помещений от чрезмерного воздействия солнечного излучения, так как в последнее десятилетие имеет тенденция увеличения летних температур. Данные факторы обуславливают целесообразность использования в окнах остекления с регулируемым светопропусканием, обеспечивающим в холодную погоду снижение потерь тепла, а в жаркую – ограничение солнечного теплопритока для уменьшения энергозатрат на кондиционирование (рис.2).

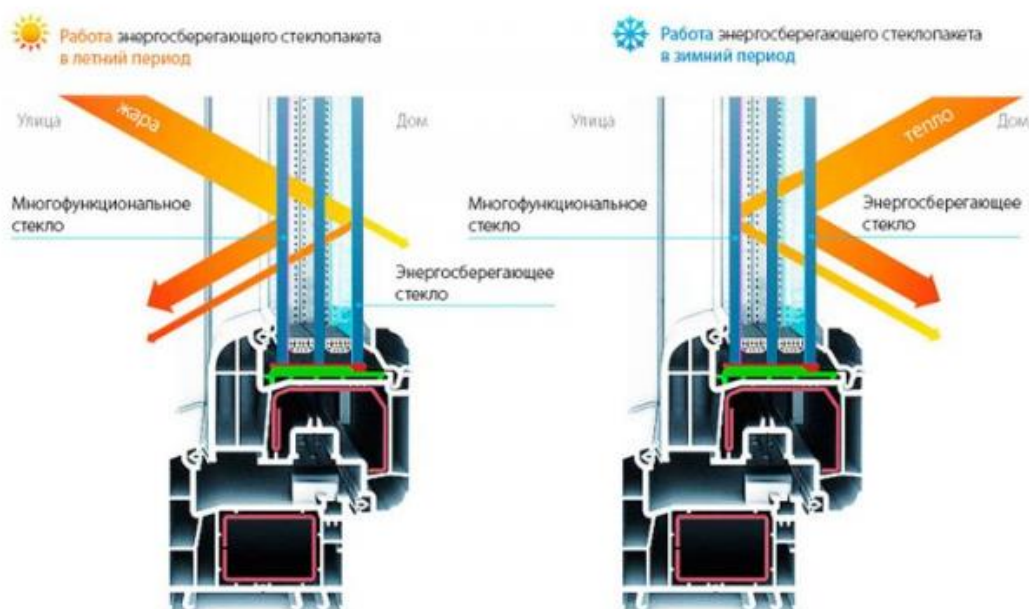


Рисунок 2 - Работа энергосберегающего стеклопакета в летний и зимний период

Современная стекольная индустрия предлагает широкий выбор как солнцезащитных, так и теплосберегающих типов архитектурного остекления.

Теплосберегающее остекление призвано сделать тепловые потери минимальными, что снижает потребление энергии на отопление помещений. Наибольшую популярность для обеспечения «защиты от холода» получили стекла с низкоэмиссионным покрытием.



Солнцезащитное остекление помогает задерживать тепловой поток, проникающий внутрь здания. Для этого применяется стекла, тонированные в массе, а также стекла со спектрально-селективными низкоэмиссионными покрытиями, которые пропускают видимую часть спектра и отражают инфракрасные лучи.

Регулирование светопропускания обеспечивает лучше – электрохромное стекло. Электрохромизм – это процесс изменения светопропускания стекла под действием электрического тока. Электрохромные стекла выпускаются в виде триплекса, который состоит из двух стекол с нанесенным на них электропроводящим покрытием. Между стеклами равномерно распределяется активный полимер, толщина которого 50-500 мкм. По периметру триплекс герметизирован для защиты полимера от воздействия внешней среды. Работа стекла проходит от электрического тока при напряжении в 1,5-2 В. При подаче напряжения электрохромное стекло затемняется, при отключении – осветляется. Светопропускание такого стекла в выключенном состоянии варьируется в пределах 73-78%, во включенном – от 5 до 38%, а энергопотребление составляет не более 0,3 Вт/м<sup>2</sup>. Электрохромное стекло легко интегрируется в традиционный стеклопакет и может иметь любую геометрическую форму, цветовой ассортимент представлен в виде палитры из семи оттенков синего.

В современной архитектуре электрохромное стекло позиционирует себя как элемент интеллектуального жилища и открывает широчайшие перспективы для создания комфортных условий жизнедеятельности человека в различных климатических поясах Земли. Диапазон рабочих температур электрохромного стекла составляет от -40 °С до +90°С. Применение электрохромных стекол позволяет значительно снизить энергопотребление как при кондиционировании, так и при отоплении помещений, и по праву может называться энергосберегающей технологией [4].

В настоящее время возможна замена существующих стеклопакетов на электрохромные с установкой блока управления в окнах из ПВХ, дерева и алюминия.

Рассмотренные технологии обеспечивают комфортные условия в помещении зданий любого функционального назначения при снижении энергопотребления.

### **Список литературы**

1. Попов К. Н. «Строительные материалы и изделия», Учебник - М.: Высшая школа, 2002 – 367 с.
2. Соловьев С.П., Динеева Ю.М. Стекло в архитектуре. Учебник - М.: Высшая школа, 1981 – 254 с.
3. Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. Статья «Новые архитектурные решения в системе структурного остекления» 7(66) 2004 г.
4. Энергосберегающие окна. Как они работают. Плюсы и минусы. Сайт компании ООО «Энергоэффективность и энергоаудит» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://energo-audit.com/okna>

УДК 628.88

Долгов Николай Викторович,

кандидат технических наук,

доцент кафедры ТТГВ;

Кислов Дмитрий Анатольевич,

магистрант гр. ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ,

ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ НА МИКРОКЛИМАТ

*Передача тепловой энергии через наружные ограждения является основным фактором, влияющим на состояние микроклимата в помещении. В нашей стране широко представлены инженерные методики расчета теплопередачи через ограждающие конструкции при стационарном процессе теплопередачи.*

*Тепловой режим таких зданий является нестационарным в связи с периодичностью работы системы отопления и изменением температуры внутреннего воздуха в процессе их эксплуатации.*

*В связи с высоким спросом на строительство индивидуального жилья в пригородной и сельской местности вопросы энергоэффективности в таких зданиях в настоящее время весьма актуальны.*

*Ключевые слова: тепловой комфорт, отопление, кондиционирование, вентиляция, микроклимат.*

Большую часть времени человек в процессе своей жизнедеятельности проводит в помещениях. Поэтому самочувствие, состояние здоровья, трудоспособность определяются взаимодействием человека с окружающей его внутренней средой. В гигиене труда имеется понятие «психофизическое состояние человека», которое отражает связь между здоровьем человека и влиянием окружающей среды. Человек будет чувствовать себя комфортно, если энергозатраты организма на адаптацию к окружающей среде минимальны.

По определению [1] «внутренняя среда помещения, проявляющаяся в большом числе факторов воздействия на человека, называется микроклиматом помещения». Наибольшее влияние на физиологическое состояние человека оказывают тепловые условия и состав внутреннего воздуха. Тепловые условия характеризуются сочетанием таких параметров, как температура  $t$ , °С, относительная влажность  $\phi$ , %, и подвижность  $v$ , м/с, воздуха, а также радиационная температура помещения  $t_r$ , °С. Состав воздуха оценивается концентрацией углекислоты, вредных газов, паров, пыли. Восприятие воздуха характеризуется также озон-ионным составом и запахами.

Параметры микроклимата в помещении формируются под влиянием возмущающих и регулирующих воздействий рисунок 1:

- наружной среды;
- технологических процессов внутри помещения;
- систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

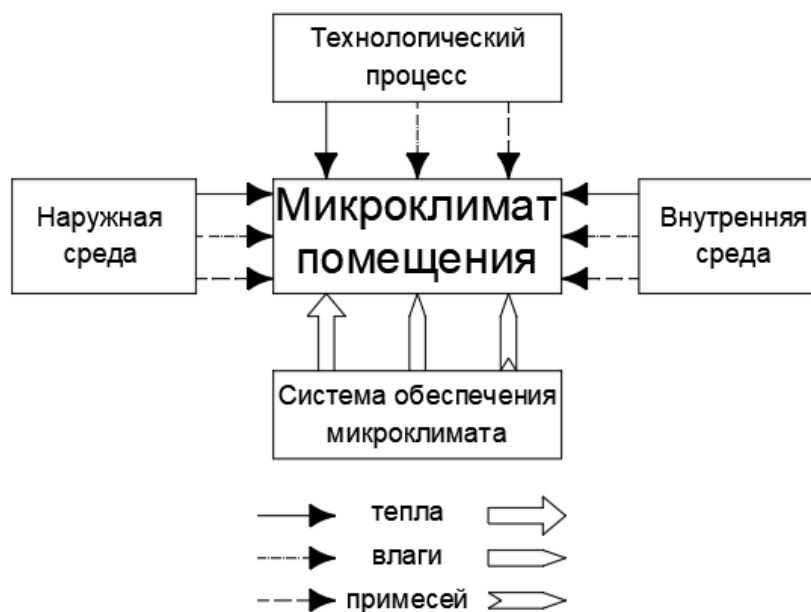


Рисунок 1 - Структурная схема формирования микроклимата

Воздействие наружной среды на микроклимат внутри помещений происходит через ограждающие конструкции (теплопередача, влагопроницаемость, воздухопроницаемость) и за счет внутренних связей между помещениями (перемещение потоков воздуха, теплообмен). Поэтому архитектурно-планировочные решения, которые заключаются в тепловой защите и планировочной композиции здания, являются пассивными факторами формирования микроклимата.

Технологический процесс на формирование микроклимата имеет значительное влияние, т.к. может сопровождаться выделением в помещение теплоты, влаги, пыли, вредных газов и паров. Они оказывают воздействие непосредственно на воздух помещения.

Мероприятия, заключающиеся в совершенствовании технологических процессов, (применении менее вредных процессов и материалов, герметизации оборудования, автоматизации технологических процессов и т.п.), снижают отрицательную роль технологических процессов в формировании микроклимата.

Процессы формирования микроклимата – это процессы трансформации потоков теплоты, влаги и воздуха, в результате которых происходит изменение параметров микроклимата. Основные три группы физических процессов формирования микроклимата:

- процессы теплообмена;
- процессы перемещения потоков воздуха;
- процессы молекулярной диффузии газовых примесей в воздухе помещения.

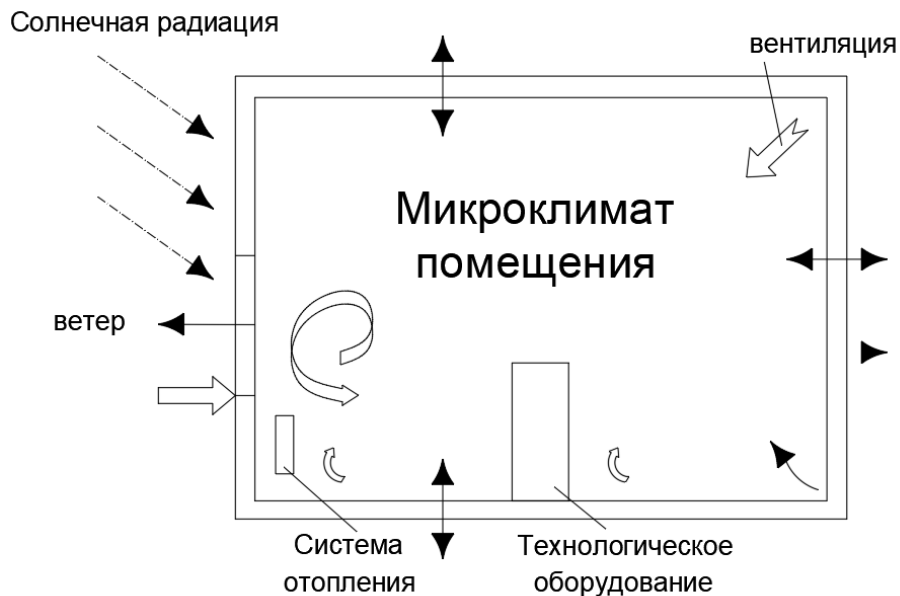


Рисунок 2 - Перемещение потоков в помещении

Молекулярная диффузия паров и газов в воздухе происходит за счет разности парциального давления вблизи источника вредности и в удалении от него. Вследствие подвижности воздуха скорость распространения вредных примесей в объеме помещения во много раз превышает скорость диффузии, поэтому этот процесс не оказывает существенного влияния на формирование параметров микроклимата рисунок 2.

Регулирующее воздействие систем отопления, вентиляции и кондиционирования заключается в снижении вредного воздействия наружной среды и технологических процессов.

Отопление обеспечивает искусственное, с помощью специальной установки или системы обогрева помещений здания для компенсации теплотерь и поддержания в них температурных параметров на уровне, определяемом условиями теплового комфорта для находящихся в помещении людей или требованиями технологических процессов, протекающих в производственных помещениях.

Вентиляция создает обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей [2-3].

Использование прерывистого отопления направлено на снижение энергозатрат при эксплуатации зданий.

На рисунке 3 показан график изменения температуры внутреннего воздуха в здании при прерывистом отоплении.

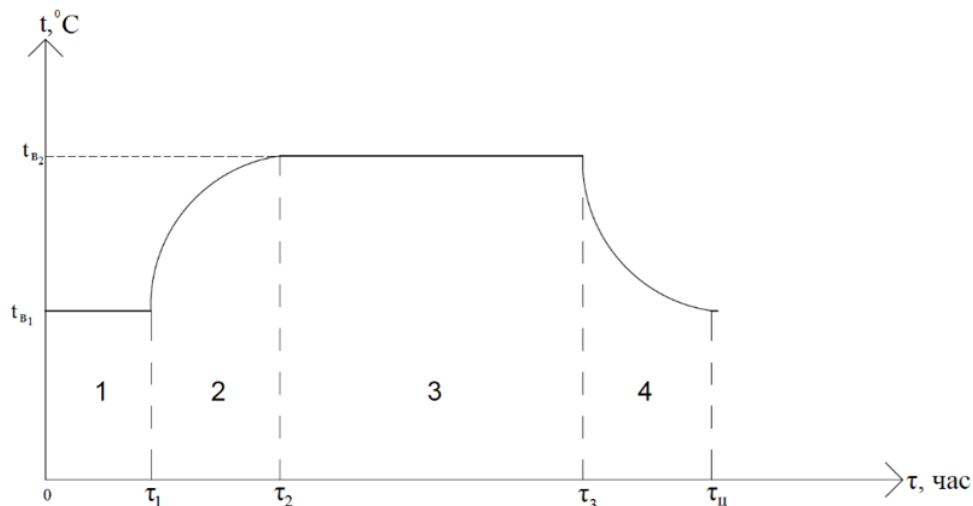


Рисунок 3 - Изменение температуры внутреннего воздуха при прерывистом отоплении

На рисунке 3 показаны четыре характерных стадии эксплуатации здания. На первой стадии ( $0 < \tau < \tau_1$ ) используется дежурный режим отопления с температурой внутреннего воздуха  $t_{в1} = 12^\circ\text{C}$ . На второй стадии осуществляется натоп помещения до расчетной температуры внутреннего воздуха равной  $t_{в2} = 22^\circ\text{C}$ . Третья стадия характеризуется стационарным расчетным тепловым режимом при наличии в помещении людей. На четвертой стадии отопительный котел не работает и происходит охлаждение внутреннего воздуха до температуры  $t_{в1} = 12^\circ\text{C}$ . Для эксплуатации здания в вышеуказанном цикле рекомендуется использовать систему автоматического управления отоплением. Система автоматического управления отоплением – это автоматизированная система управления устройствами, отвечающими за управление и регулирование отопления в помещениях коттеджа.

Использование САУ является целесообразным в переходный и зимний периоды года. При отсутствии человека в помещениях поддерживается дежурное отопление, которое препятствует вымораживанию системы и выпадению конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций. При необходимости система может быть переведена с дежурного режима на стационарный режим. Перевод режима может быть осуществлен как вручную, так и дистанционно с помощью GSM связи [4].

Управление тепловым режимом сводится к поддержанию его на заданном уровне или изменению в соответствии с заданным законом. Комфортные условия внутри помещения создаются путем конвективного и лучистого теплообмена между радиатором и внутренним воздухом.

Регулирование происходит с помощью изменения расхода газа ( $G_r$ ) на газовой горелке. Периодичность включения и выключения газовой горелки позволяет уменьшить расход газа. Нагрев теплоносителя происходит в газовом котле, который далее с температурой  $T_n$  поступает в радиаторы отопления, установленные в помещениях. Показания датчиков внутреннего воздуха пересылаются через преобразователь на блок сравнения, где полученные данные сравниваются с исходными заданными параметрами.

Для управления и настройки дома из удаленных мест предлагается использовать GSM систему, которая связывает с помощью интернета и сотовой связи владельца и устройство управления [5].

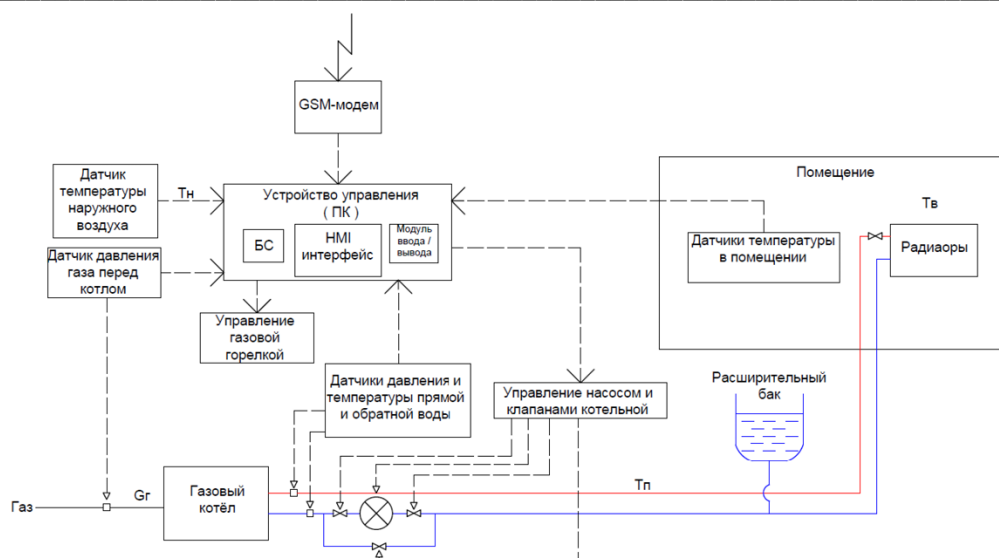


Рисунок 4 - Схема автоматизации системы отопления здания

При необходимости система может быть переведена с дежурного режима на номинальный. Основной критерий номинального режима заключается в поддержании комфортной температуры внутреннего воздуха в диапазоне  $18^{\circ}\text{C} < T_{\text{в}} \leq 26^{\circ}\text{C}$ . При понижении температуры ниже  $18^{\circ}\text{C}$  происходит включение системы нагрева и происходит натоп помещения до  $26^{\circ}\text{C}$ . Далее система нагрева отключается и происходит постепенное остывание помещения до минимального порога. При его достижении происходит включение системы нагрева.

При отсутствии необходимости в дальнейшем поддержании номинальной температуры в помещении, система может быть переведена на дежурный режим.

### Список литературы

1. Суханов, К.О. Микроклимат жилых помещений с плинтусной системой водяного отопления и подачей приточного воздуха через регулируемые оконные створки [Текст] / О.К. Суханов, А.М. Гримитлин, А.Л. Шкаровский // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №5. – С.111- 115.
2. Примак, Л.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в государственных и муниципальных учреждениях [Текст] / Л.В. Примак. – М.: Академический проект, 2013. – 552 с.
3. Меренков, А. П. Методы комплексной оптимизации тепловых сетей с применением электронных вычислительных машин [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.03 / Меренков Анатолий Петрович. – Новосибирск, 1963. – 13 с.
4. Анисимова, Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании отопительного режима прерывистого отопления [Текст] / Е.Ю. Анисимова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – №38. – С. 55–59.
5. Анисимова, Е.Ю. Эффективность управления микроклиматом здания в нерабочее время [Текст] / Е.Ю. Анисимова, В.И. Панферов // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – М., 2014. – №2. – С.72–78.

УДК 628.3

**Рожков Виталий Сергеевич**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ВВ и ОВР;  
**Дорцева Мария Николаевна**,  
магистрант гр. ВВ-50 кафедры ВВ и ОВР,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕТИЧНОГО ОТСТАИВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАГЕНТОВ**

*Аннотация:* В данной статье проведен опыт сравнения эффективности использования различных реагентов для очистки иловой воды, загрязненной взвешенными веществами и фосфатами. В ходе эксперимента были протестированы четыре пробы иловой воды объемом по 1 литру каждая, к которым добавлялись различные реагенты: коагулянт (сульфат алюминия), флокулянт (полиакриламид), их комбинация, а также известь. Основной целью работы было определить, какой из реагентов или их комбинация наиболее эффективна в удалении фосфатов и снижении мутности воды.

*Ключевые слова:* очистка сточных вод, коагулянт, флокулянт, иловая вода, удаление фосфатов, снижение мутности

**Введение.** Выброс сточных вод, прошедших очистку на разном уровне, существенно влияет на водные экосистемы, приводя к ухудшению биологических функций водоемов, которые принимают воды, загрязненные человеческой деятельностью. Особенно акцентируется внимание на третичном отстаивании как на этапе очистки, направленном на удаление взвешенных частиц и фосфатов из сточных вод. Эти загрязнители представляют собой особую угрозу для водных экосистем, способствуя эвтрофикации водоемов, что приводит к избыточному развитию водорослей и снижению качества воды. В свете этого, изучение и оптимизация процессов третичного отстаивания приобретают ключевое значение для обеспечения высокой эффективности очистки сточных вод и минимизации их воздействия на окружающую среду.

**Целью данного исследования** является анализ и оценка эффективности использования различных реагентов (сульфата алюминия как коагулянта, полиакриламида в качестве флокулянта, их комбинации, а также извести) в контексте третичного отстаивания для очистки иловой воды от взвешенных веществ и снижения уровня фосфатов. Исследование направлено на выявление наиболее эффективного реагента способствующего максимальной очистке сточных вод, обеспечивая тем самым высокий уровень экологической безопасности для водных экосистем.

**Основной материал.** Для улучшения удаления органических веществ и биогенных элементов из сточных вод в небольших и средних населенных пунктах предлагается оптимизировать биологические и гидравлические очистные процессы, в том числе через разработку новых биореакторов. Эти биореакторы, оснащенные затопленной системой аэрации и интегрированным илоотделением, обеспечивают одновременную нитрификацию-денитрификацию и илоотделение, увеличивая эффективность очистных станций средней и малой мощности до 10 000 м<sup>3</sup>/день.

В работе представлена технология биологической очистки с использованием эрлифтных биореакторов (БОСЭБ), [1]. Схема опытно-промышленной установки очистки

сточных вод БОСЭБ приведена на рисунке 2. Эта технология отличается применением аэротенков-осветлителей с внутренней системой аэрации по принципу затопленного эрлифта [2,3], обеспечивающей эффективную циркуляцию потоков воды внутри сооружения, как показано на Рисунке 1.

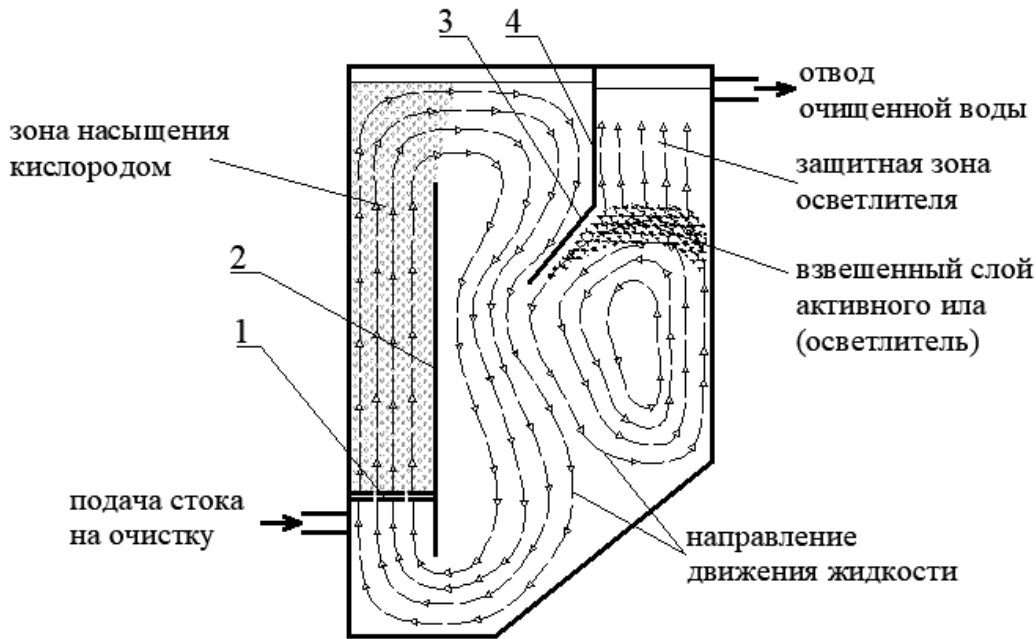


Рисунок 1 - Схема эрлифтного биореактора

1 – аэратор; 2 – вертикальная стенка затопленного эрлифта; 3 – наклонный козырёк; 4 – вертикальная разделительная перегородка.

В аэрационной колонне затопленного эрлифта формируются поднимающиеся потоки смеси воды и воздуха. Вокруг этой колонны жидкость движется вниз, и при переходе через зазор под козырьком создает зону пониженного давления. Это пониженное давление способствует автоматическому обновлению взвешенного слоя в осветлительной зоне.

В зависимости от характеристик сточных вод, подаваемых на очистку, конфигурация сооружений в технологических цепочках БОСЭБ может меняться.

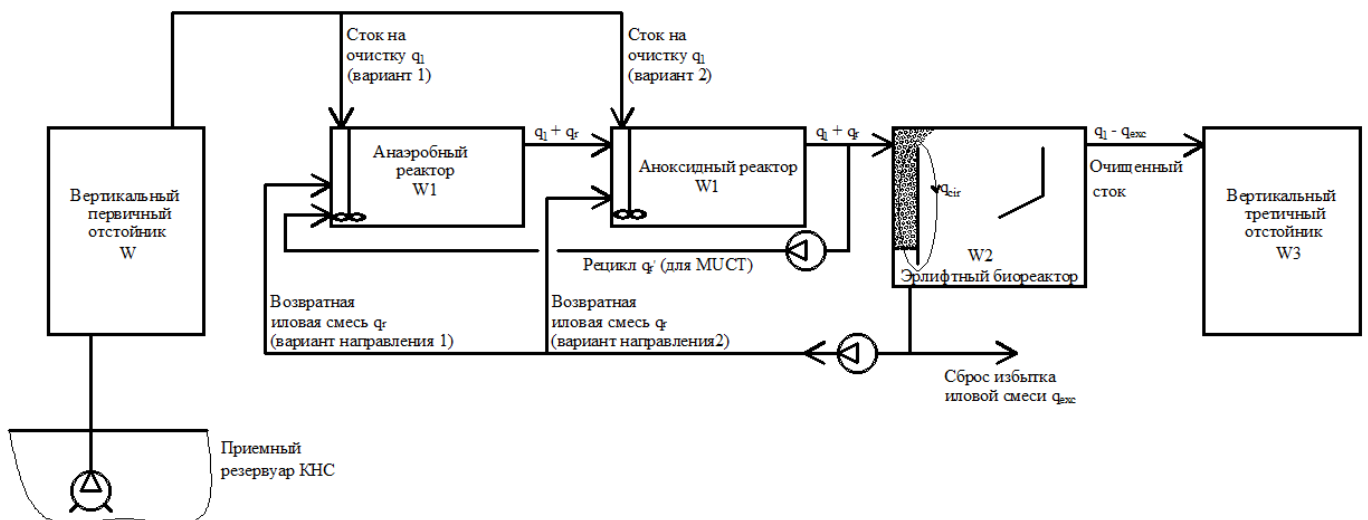


Рисунок 2 - Схема опытно-промышленной установки очистки сточных вод БОСЭБ



По сравнению с традиционными методами, новые решения имеют преимущества, включая отсутствие нитратного цикла, который может достигать до 300% от объема сточных вод; перемешивание в аноксидной зоне за счет эрлифтной циркуляции без необходимости механического оборудования; и исключение из схемы вторичного отстойника благодаря использованию взвешенного слоя активного ила в аэротенке, что предотвращает вторичное загрязнение в процессе илоотделения за счет эффективной вихревой рециркуляции [4,5]. Поскольку из схемы исключается вторичный отстойник, его можно использовать как третичный.

Мной был проведен опыт, в котором было взято 5 литров иловой воды. В пяти пробах объемом по 1 литр каждая были добавлены различные реагенты, а именно: коагулянт (сульфат алюминия), флокулянт (полиакриламид), известь для удаления взвешенных веществ и снижения содержания фосфатов. В первую был добавлен коагулянт, во вторую флокулянт, в третью коагулянт вместе с флокулянтом и в четвертую известь. Пятая проба была холостая.

1. Коагулянт (Сульфат алюминия): Коагуляция — это процесс, в котором мелкие частицы в воде агломерируют (слипаются) в более крупные, что облегчает их удаление путём отстаивания. Сульфат алюминия, как коагулянт, работает за счет нейтрализации зарядов на частицах взвешенных веществ, включая фосфаты, образуя нерастворимые флокулы. Эти флокулы затем можно легко удалить из воды.
2. Флокулянт (Полиакриламид): Флокулянты, такие как полиакриламид, увеличивают размер частиц за счет их связывания в более крупные агломераты после процесса коагуляции. Это улучшает процесс отстаивания или фильтрации, делая удаление частиц более эффективным.
3. Известь: Известь (гидроксид кальция) часто используется для коррекции pH сточных вод и может способствовать осаждению некоторых веществ. Однако её эффективность в удалении фосфатов напрямую может быть ограничена по сравнению с коагуляцией.

Доза реагентов рассчитывалась исходя из мутности исходной иловой воды, которая составила 62 мг/л. Доза извести для связывания фосфатов принимается по справочнику [6] и составила 200 мг/л сухого вещества. После разводилась в 50 мл дистиллированной воды и вводилась непосредственно в пробу. Время реакции 10 минут. Доза коагулянта и флокулянта определяется исходя из мутности исходной воды согласно методическим указаниям [7,8], которые составили для коагулянта 0,3 мл/л, для флокулянта 0,2 мл/л. Время реакции по 5 минут у обоих проб. Дозы реагентов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Дозы реагентов.

	Коагулянт ( $Al_2(SO_4)_3$ ), мл/л	Флокулянт (ПАА),мл/л	Коагулянт+Флокулянт, мл/л	Известь, мг/л
<b>Доза</b>	0,3	0,2	0,3+0,2	200
<b>Время реакции</b>	5 мин	5 мин	5 мин	10 мин

### Результаты исследования

Результаты данного исследования в контексте третичного отстаивания иловой воды указывают на то, что коагулянт, основанный на сульфате алюминия, демонстрирует наивысшую эффективность в устранении фосфатов, снижая их концентрацию до 3,46 мг/л, что соответствует и даже превосходит установленные нормы СанПиН для содержания фосфатов в питьевой воде (не более 3,5 мг/л). В то же время, флокулянт на основе полиакриламида выявил наибольшую эффективность в уменьшении мутности воды. Однако, хотя комбинированное использование коагулянта и флокулянта привело к улучшению общих

показателей очистки, оно не смогло превзойти результаты, достигнутые при их отдельном применении. Применение извести также способствовало положительным изменениям в качестве воды, но её эффективность была менее выраженной по сравнению с остальными тестируемыми реагентами. В целом, результаты которые представлены в Таблице 2 подчёркивают значимость выбора оптимальных реагентов для достижения требуемых стандартов очистки в процессе третичного отстаивания, особенно в отношении устранения фосфатов и снижения мутности в сточных водах [9].

Таблица 2 - Результаты лабораторного исследования

Показатель	Коагулянт (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ), мг/л	Флокулянт (ПАА), мг/л	Коагулянт+Флокулянт, мг/л	Известь, мг/л	Холостая проба (исходная)
Мутность	33	24	34	43	62
Фосфаты	3,46	8,1	4,5	4,5	13,6

Эксперимент показал, что:

- Сульфат алюминия наиболее эффективно снижает содержание фосфатов до уровня 3,46 мг/л.
- Полиакриламид наиболее эффективно снижает мутность, улучшая визуальное качество воды.

Почему коагулянт оказался эффективнее для фосфатов

1. Прямое взаимодействие: Сульфат алюминия напрямую взаимодействует с фосфатами, формируя нерастворимые соединения, которые легко удаляются из воды. Это прямое химическое взаимодействие делает процесс более эффективным для конкретной задачи удаления фосфатов.
2. Формирование флокул: Коагуляция способствует образованию флокул, которые могут включать в себя не только взвешенные частицы, но и фосфаты, тем самым эффективно удаляя их из воды.
3. Широкий спектр действия: Хотя флокулянты эффективны в улучшении отделения частиц после коагуляции, они не специфичны для фосфатов и работают лучше в сочетании с коагулянтами, когда речь идёт о удалении определённых загрязнителей, [10,11].

**Выводы.** В ходе третичного отстаивания иловой воды эффективность сульфата алюминия в удалении фосфатов обусловлена его способностью к прямому химическому взаимодействию с фосфатами, формированию нерастворимых соединений и их последующей очисткой из воды в виде флокул. Это подчёркивает значимость правильного выбора реагента в зависимости от целей очистки сточных вод.

Результаты данного исследования не только демонстрируют эффективность коагулянта в очищении сточных вод от определённых загрязнителей, но также предоставляют важные данные для определения наилучших методов очистки, исходя из конкретных задач и условий. Так, исследование вносит вклад в разработку более продуктивных и экологически безопасных стратегий очистки сточных вод, что становится ключевым аспектом в обеспечении устойчивого управления водными ресурсами и защиты экосистем.

### Список литературы

1. Нездойминов, В. И. Концепция биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, В. Н. Чернышев // Технологии

- очистки воды "ТЕХНОВОД-2018" : Материалы XI Международной научно-практической конференции, Сочи, Красная Поляна, 11–14 декабря 2018 года. – Сочи, Красная Поляна: ООО "Лик", 2018. – С. 220-224
2. Нездойминов, В. И. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации. / В.И. Нездойминов, В.С. Рожков // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – Т. 93, – С. 353-358.
  3. Нездойминов, В. И. Биологическая очистка городских сточных вод с эрлифтными биореакторами-осветлителями / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Д. В. Заворотный // Строитель Донбасса. – 2018. – № 4(5). – С. 17-21.
  4. Метод оценки работы вторичных отстойников для принятия оперативного решения по оптимизации эксплуатации / М. В. Кевбрина, А. Г. Дорофеев, А. М. Гаврилин, С. Н. Новиков // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2021. – № 1. – С. 43-53.
  5. Вильсон, Е.В. Актуализация технологии очистки сточных вод на базе наилучших доступных технологий / Е.В. Вильсон, Д.А. Бутко // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т.11 – С.1-9.
  6. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. И.А Назарова. – М.: Стройиздат, 2011. – 288 с/  
<https://forum.abok.ru/index.php?showtopic=40550>
  7. Reardon, R. Tertiary Clarifier Design Concepts and Considerations / R. Reardon // Proceedings of the Water Environment Federation, - 2005. №38. P. 4453-4466. 10.2175/193864705783866919.
  8. Wilson, Th. Clarifier Design. / T. Wilson, et al. – 2005. WEF Manual of Practice No. FD-8. Second Edition, McGraw-Hill: Water Environment Federation, p. 704.
  9. Водоснабжение (водопроводные очистные сооружения): учебное пособие / И.Б. Синежук, А.В. Могукало [и др.], 2021. – 83 с
  10. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* (с Изменениями N1-5). – М., 2012. – 156 с. - Текст: электронный // Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200093820>.
  11. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.

УДК 62-623

**Брыков Артём Геннадиевич,**  
**Корнышев Аркадий Феликсович,**  
магистранты кафедры ТТГВ;  
**Колосова Нелли Вадимовна,**  
к.т.н, доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **СПОСОБЫ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

*При проектировании системы газоснабжения населенных пунктов, важно обеспечить высокую надежность поставки топлива. Одной из распространенных проблем потребителей сетевого природного газа, который является основным видом топлива, является прекращение подачи топлива. Это может быть вызвано падением давления в трубопроводе из-за повышенной нагрузки потребления, а также аварией на магистральной линии. В связи с этим для газоснабжения отдаленных населенных пунктов целесообразней использовать альтернативные способы газоснабжения. К таким способам можно отнести системы газоснабжения сжиженными углеводородными газами и сжиженным природным газом. Для газоснабжения сельской местности возможно применение биогаза получаемого путем сбраживания органической массы.*

*Ключевые слова: газоснабжение, сжиженные углеводородные газы, сжиженный природный газ*

Природный газ используется в различных сферах деятельности. Природный газ обладает рядом преимуществ в сравнении с другими видами топлив. Это один из экологически безопасных видов топлива. При сжигании природного газа не происходит образования твердых веществ (зола), как при сжигании твердых видов топлива. Природный газ обладает высокой теплотой сгорания. В качестве источника энергии, природный газ используется в коммунально-бытовых сферах, промышленности и энергетики. Природный газ, при соблюдении правил безопасности, удобен в использовании для бытовых целей в частных и многоквартирных домах.

По данным информационного агентства Интерфакс газификация РФ на конец 2023 года составляет 73,8% [1]. Основной проблемой газификации отдаленных населенных пунктов с небольшой численностью жителей природным газом, является значительная удаленность их от магистральных газопроводов. Учитывая капитальные и эксплуатационные затраты при газоснабжении отдаленных населенных пунктов, применение природного газа является экономически нецелесообразно. При проектировании системы газоснабжения необходимо обеспечить высокую надежность поставки топлива. Если в отдаленный населенный пункт газ транспортируется через один магистральный газопровод, то в случае аварии или его ремонта подача топлива может прекратиться.

Поэтому для газоснабжения таких населенных пунктов эффективнее использовать альтернативные способы газоснабжения. К таким способам можно отнести применение сжиженных углеводородных газов (СУГ) и сжиженный природный газ (СПГ). В зависимости от требуемого объема газа использование СУГ и СПГ можно как для всего населенного пункта, так и для отдельных объектов.

Основными источниками получения СУГ являются попутные газы нефтяных месторождений, природные газы газоконденсатных месторождений и газы выделяющиеся при переработки нефти. Основной характеристикой СУГ является способность компонентов

переходить при нормальных условиях из жидкого состояния в газообразное, а при повышении давления и понижении температуры переходить из газообразного в жидкое состояние. Из всех углеводородов такими характеристиками обладают пропан и бутан. При температуре 0°C пропан переходит в жидкое состояние при повышении давления до 0,47 МПа, бутан до 0,16 МПа [2].

Состав СУГ используемых для газоснабжения регламентируется ГОСТ Р 52087-2018 [3].

Для газоснабжения отдельных квартир или домов используются индивидуальные баллонные установки. Они представляют собой емкости из металла или композитных материалов, способные выдерживать высокое давление газа внутри. Они могут быть различного размера и объема в зависимости от потребностей пользователя (27 л или 50 л).

Основными преимуществами индивидуальных баллонных установок являются их портативность и удобство использования. Они обеспечивают надежное хранение газа и его безопасную транспортировку.

Теплота сгорания СУГ составляет 45÷46 МДж/кг.

Для удаленных населенных пунктов, где магистральные газопроводы практически недостижимы, а строительство распределительных газопроводов экономически неэффективно, использование сжиженного природного газа может стать реальной альтернативой прокладки газопроводов [4].

СПГ представляет собой природный газ, сжатый до жидкого состояния при низких температурах, что делает его удобным для транспортировки и хранения.

Получение сжиженного природного газа осуществляется через процесс охлаждения и конденсации обычного газообразного природного газа до низких температур (-160°C). Этот процесс позволяет уменьшить объем газа в несколько сотен раз, что делает его более подходящим для транспортировки и хранения.

Основные этапы процесса получения СПГ включают:

1. Очистка газа: Первым шагом является очистка газа от примесей, таких как сероводород, углекислый газ и влага. Это осуществляется с помощью различных методов, таких как адсорбция, сорбционная фильтрация или холодный замерзающий метод.

2. Сжатие: Очищенный газ затем сжимается до высокого давления с использованием компрессоров. Это необходимо для дальнейшей обработки и охлаждения газа.

3. Охлаждение: Сжатый газ проходит через специальные холодильные установки, которые снижают его температуру до очень низких значений, обычно около -160°C.

4. Конденсация: При низких температурах газ превращается в жидкость и собирается в специальных резервуарах или баллонах. Этот жидкий газ является сжиженным природным газом.

СПГ может быть использован в различных сферах, таких как энергетика, транспорт и промышленность, и является более экологичной альтернативой традиционным видам топлива.

В работе [4] предлагается структурная схема газификации населенных пунктов природным газом посредством внедрения технологии с использованием сжиженного природного газа.

Этапы работы автономной газификации по технологии СПГ следующие:

- отбор газа из сетей низкого или высокого давления. Подготовка и подача газа высокого давления на установку сжижения;
- частичное сжигание газа за счет дроссельно-вихревого эффекта;
- хранение СПГ в криогенном резервуаре на объекте производства. Перелив СПГ в автотранспортную цистерну;
- транспортировка сжиженного газа автотранспортными цистернами на объект потребителя;
- слив СПГ и хранение в расходном резервуаре на объект потребителя;
- регазификация СПГ в атмосферных испарителях за счет тепла окружающей среды;

– подготовка и подача природного газа потребителю через узел учета газа.

Наиболее важным различием СПГ и СУГ является температура хранения. СУГ хранится в газгольдерах под давлением при температуре, близкой к температуре окружающей среды.

Условия хранения СПГ же кардинально отличаются. Сжиженный природный газ допускается хранить только в изотермических резервуарах с полной герметизацией (криоцистернах), изготовленных из материалов, стойких к температурам хранения продукта. Внутри емкости постоянно должна поддерживаться низкая температура около  $-163^{\circ}\text{C}$ .

Оба газа, применяемые в тепло- и газоснабжении, имеют схожие характеристики, такие как способность к испарению, а так же являются экологичными. Однако, они все же имеют свои отличия, что позволяет выбрать оптимальное топливо для систем газоснабжения объекта. Газы не имеют запаха, поэтому им добавляются одоранты для обнаружения в воздухе. Важно учитывать эти различия при выборе газа для конкретных нужд.

Для газоснабжения сельской местности с развитым животноводством возможно применение биогаза, получаемого путем сбраживания органических отходов.

Биотехнологии предусматривают несколько стадий разложения органических веществ (ОВ) с дальнейшим производством биотоплива (биогаза). Биогаз содержит в своем составе метан 40-60%, углекислый газ 30-60%, и небольшое количество водорода до 1% и сероводорода - до 3%. После очистки от примесей до состояния биометана, им можно частично заменить природный газ, без перенастройки газосжигающего оборудования [6,7].

Работа биогазовой установки предполагает максимальную автоматизацию и сведение к минимуму затрат человеческого труда. Отходы поступают в приемный резервуар для измельчения крупных включений. Подготовленная биомасса загружается в метантенк для сбраживания в анаэробных условиях. В результате разложения органической биомассы образуется биогаз. Получаемый биогаз собирается в газгольдер.

Транспортировка биогаза происходит по газопроводу, который оснащен устройствами автоматического отвода конденсата и предохранительными устройствами, защищающими газгольдер от превышения допустимого давления. Из газгольдера идет непрерывная подача биогаза на станцию очистки биогаза и далее через ГРП, с компрессором, повышающим давление, биогаз подается потребителю.

Использование биогаза в качестве альтернативного топлива возможно после предварительной очистки биогаза от воды, сероводорода и диоксида углерода [7].

На сегодняшний день возможно применять различные способы альтернативного газоснабжения населенных пунктов. Для частных домов целесообразней использовать СУГ, для отдаленных от магистральных газопроводов предприятий и жилых районов рациональней применение СПГ, а для газоснабжения животноводческих предприятий возможно использование биогаза, получаемого путем сбраживания органических отходов.

### **Список литературы**

1. Интерфакс: информационная группа : [сайт]. – Москва, 2024 – Уровень газификации РФ за 2023 год поднялся с 73% до 73,8% – URL: <https://www.interfax.ru/russia/941850> (дата обращения: 26.02.2024). – Текст : электронный.
2. Артихович, В.В. Сжиженные углеводородные газы: учебно-методическое пособие по дисциплине «Газоснабжение» для студентов специальности 1-10 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / В.В. Артихович, М.Г. Пшоник. – Минск: БНТУ, 2010. – 220 с.
3. ГОСТ Р 52087-2018. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 марта 2018 г. № 164-ст. Взамен

ГОСТ Р 52087—2003: дата введения 2019-07-01 / Разработан Акционерным обществом «Волжский научно-исследовательский институт углеводородного сырья» (АО «ВНИИУС»). – Москва : Стандартиформ, 2018. – Тест непосредственный.

4. Медведева О. Н., Фролов В. О. Газоснабжение сжиженным природным газом // Наука и современность. 2010. №1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gazosnabzhenie-szhizhennym-prirodnym-gazom> (дата обращения: 12.02.2024).

УДК 628.165

**Синежук Инна Борисовна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ВВ и ОВР,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Иванов Александр Викторович,**  
магистрант группы ЗВВм-53а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**

**Пузовский Александр Евгеньевич,**  
магистрант группы ЗВВм-53а,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

### **К ВОПРОСУ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМОВ И УТИЛИЗАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

*Статья посвящена актуальному вопросу переработки и утилизации концентрированных сточных вод обратноосмотических установок. Приведены данные по существующим технологиям и методам уменьшения сброса сточных вод мембранных аппаратов. Рассмотрены сорбционный, электродиализный и электролизный методы обработки концентратов, но наиболее перспективной является технология, основанная на концентрировании малорастворимых солей в примембранном слое, отделении их в реакторах и повторном направлении концентрата в аппараты обратного осмоса.*

*Ключевые слова: обратноосмотические установки, концентрат, бессточные системы, обработка высокоминерализованных вод.*

В настоящее время наиболее эффективными и наименее энергоемкими методами обессоливания воды являются мембранные технологии. Данные методы эффективно используются для подготовки питьевой воды, питательной воды котлов высокого давления ТЭЦ, паровых котлов котельных, подпитки теплосетей и др.

Однако, основными проблемами, препятствующими широкому применению мембранных технологий в питьевом водоснабжении и водоподготовке, являются необходимость применения дорогостоящих систем предварительной очистки и наличие концентратов, которые необходимо утилизировать [1]. При этом расход концентрата, в зависимости от качества пермеата, должен быть таковым, чтобы создавались условия безопасной работы обратноосмотических мембран, позволяющие избежать образование на них осадков малорастворимых солей, в основном карбоната и сульфата кальция.

Уменьшение объема концентрата установок обратного осмоса до сих пор остается важной нерешенной проблемой. Существующие мембранные аппараты требуют тщательной и эффективной предварительной очистки, дозирования ингибиторов, проведения химических промывок для предотвращения осадкообразования на мембранах и быстрого выхода их из строя [1].

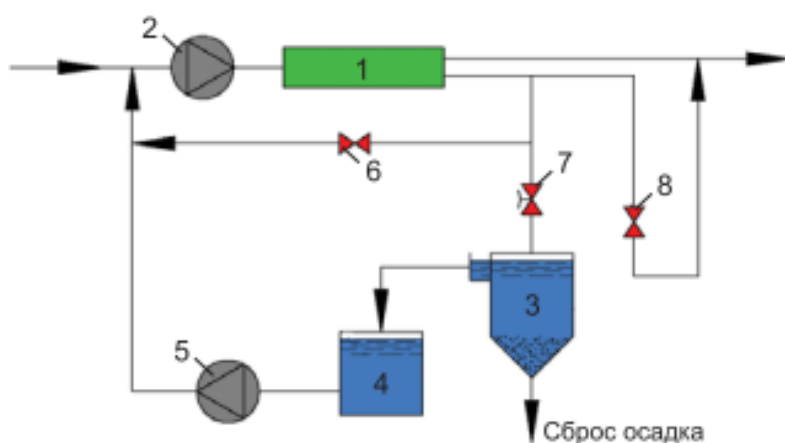
В настоящее время проблема загрязнения мембран в обратноосмотических аппаратах в большой степени определяется конструктивными особенностями мембранных каналов, поэтому авторами [1-3] разработаны новые конструкции мембранных аппаратов с «открытым каналом», исключая образование «застойных зон», вызывающих осадкообразование на мембранах. Применение таких аппаратов в схемах водоподготовки избавляет от



необходимости удаления из исходной воды коллоидных и взвешенных веществ и применения ингибиторов кристаллообразования [2].

Данная технология основана на выведении из водного раствора осадков коллоидных веществ и малорастворимых солей за счет их концентрирования в приембранном слое и дальнейшем отделении в реакторах и отстойниках [3].

На рисунке 1 показана технологическая схема подготовки питьевой воды из поверхностных вод, при этом обратноосмотическая установка работает в циркуляционном режиме, благодаря чему выход фильтрата может составлять до 90...95 % [1]. Вода, после гидравлической промывки мембранных аппаратов, собирается в специальный отстойник и после отстаивания смешивается с исходной водой, а осадок удаляется на обезвоживание.



1 - мембранный аппарат; 2 - насос высокого давления; 3 – отстойник-реактор; 4 - бак сбора воды; 5 - насос; 6 - вентиль; 7 - магнитный клапан; 8 - вентиль регулировки давления

Рисунок 1 - Технологическая схема подготовки питьевой воды из поверхностных источников с применением метода обратного осмоса

Концентрат после мембранного аппарата выдерживается в отстойнике-реакторе, в котором избыточный карбонат и сульфат кальция выпадает в осадок и отстаивается. После отстаивания концентрат направляется опять в аппараты обратного осмоса, где происходит его дальнейшее концентрирование и удаление избыточных карбоната и сульфата кальция в реакторе.

Так же в настоящее время существуют способы обработки высокоминерализованных вод сорбционным методом. Так, согласно схемы обработки концентрата обратноосмотической установки [4], предлагается пропускать его через фильтры с загрузкой из хвалынских («шоколадных») глин и затем снова направлять на обратноосмотическую установку вместе с исходной водой. Емкость поглощения таких глин составляет до 31 мг-экв на 100 г сухой породы. Сорбционные свойства «шоколадных» глин были изучены на модельных растворах с минерализацией 4,0 г/л, температурой 20°C и согласно проведенным исследованиям, остаточная минерализация очищенной воды снизилась с 4 до 1,1 г/л [5]. При этом глина, которая исчерпала с течением времени свои сорбционные способности, может быть направлена в строительную отрасль, например, для использования при строительстве дорог или для засыпки рекультивируемых полигонов твердо-бытовых отходов [5].

Другое решение проблемы утилизации высокоминерализованных вод предлагают В.Д. Гребенюк и его коллеги с помощью электродиализных аппаратов. Использование зарядселективных ионообменных мембран, предпочтительно пропускающих однозарядные катионы и анионы и задерживающих многозарядные ионы, позволит удалить из обрабатываемой воды ионы, разрушающие структуру почвы ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ), а ионы, укрепляющие

её структуру ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), оставить в диализате, который можно затем использовать для полива. Дополнительное преимущество зарядселективных мембран заключается в возможности упростить предварительную подготовку воды перед электродиализом, а также в повышении предельно допустимой концентрации рассола.

Так же разработаны и внедрены технологические схемы производства гипохлорита натрия из морской воды в зависимости от требуемой производительности электролизной установки по активному хлору и количества обеззараживаемой воды в циркуляционном и проточном режимах [6]. В качестве источника для производства гипохлорита натрия на электролизной установке можно рекомендовать использовать высокоминерализованные сточные воды обратноосмотических аппаратов, близкие по своему составу к составу морской воды.

Таким образом, в настоящее время существует несколько направлений переработки и утилизации концентратов обратноосмотических установок, многие из которых требуют дополнительных затрат. Наиболее перспективным, не требующим использования дополнительных реагентов и установок является использование более совершенных обратноосмотических аппаратов, снижающих опасность осадкообразования и тем самым упрощающих весь комплекс технологических мероприятий, традиционно используемых разработчиками мембранных установок [1-3].

### **Список литературы**

1. Первов, А. Г. Бессточные схемы водоподготовки на основе мембранных технологий / А. Г. Первов, А. П. Андрианов, Т. П. Горбунова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. - 2011. - Вып. 4(19). – Текст : электронный : [сайт]. – URL : [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PervovAndrianovGorbunova-2011\\_4\(19\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PervovAndrianovGorbunova-2011_4(19).pdf).
2. Первов, А. Г. Совершенствование конструкций мембранных аппаратов / А. Г. Первов, А. П. Андрианов, Е. Б. Юрчевский // Водоснабжение и санитарная техника. - 2009. – №7. - С. 62-68. - Текст : непосредственный.
3. Первов, А. Г. Разработка мембранных технологий с уменьшенным расходом воды на собственные нужды / А. Г. Первов, А. П. Андрианов, Т. П. Горбунова // Водоснабжение и санитарная техника. - 2010. - №6. - С. 13-21. - Текст : непосредственный.
4. Бутко, Е. М. Уменьшение объема концентрата обратноосмотической установки с последующим его обессоливанием на сорбционных фильтрах / Д. А. Бутко, Е. М. Конкина // Молодой исследователь Дона. Политематический сетевой электронный журнал Донского государственного технического университета – 2020. - №2(23). – С. 145-148. - Текст : электронный : [сайт]. – URL : <http://mid-journal.ru>.
5. Юрьев, Ю. Ю. Сорбенты для опреснения высокоминерализованных вод поверхностных источников / Ю. Ю. Юрьев [и др.] // Инженерный вестник Дона. - 2015. - №1. - Стр. 5–7. - Текст : непосредственный.
6. Пчельников, И. В. Исследование режимов и выбор оптимальных условий непроточного электролиза при получении гипохлорита натрия из морской воды / И. В. Пчельников // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки». - 2013. - №6. - С. 112-117. - Текст : непосредственный.

УДК 697.9 (075.8)

**Засько Виталий Васильевич**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры проектирования  
и технологии строительства ИСА и ЖКХ,  
**ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»;**  
**Сорокин Вадим Александрович**,  
аспирант кафедры теплогазоснабжения  
и вентиляции ИСА и ЖКХ,  
**ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОСЕТЕЙ**

*Представлены основные направления работ по модернизации и реконструкции существующих теплосетей. Проведены расчеты тепловых потерь через изоляцию магистральных трубопроводов с различными стандартными диаметрами. Полученные расчетные удельные тепловые потери магистральных трубопроводов с ППУ-изоляцией при изменении температуры теплоносителя не превышали нормативных значений тепловых потерь при идентичных условиях. Результаты проведенных исследований показали необходимость корректировки существующих нормативов тепловых потерь в системах теплоснабжения, которая позволит повысить их эффективность.*

*Ключевые слова: тепловая изоляция, трубопроводы, пенополиуретан, тепловые потери, термическое сопротивление.*

Главной задачей для развития экономики любого государства является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. Решение проблем энергосбережения в сфере использования тепловой энергии в значительной степени зависит от состояния тепловых сетей и эффективности промышленной тепловой изоляции.

В целях сокращения нормативных и сверхнормативных потерь тепла поставщиками предложена замена существующих магистральных трубопроводов на предизолированные трубы с ППУ-оболочкой. Увеличение диаметра труб подающей магистрали позволяет обеспечить стабильное теплоснабжение в крупных городах и регионах, где с каждым годом сильно возрастает потребность в тепловой энергии, и сократить ежегодные сверхнормативные потери тепла на 1,5-2 %.

**Цель исследования** – оценка потерь тепловой энергии через изоляционные конструкции трубопроводов с пенополиуретаном, с учетом способа прокладки трубопроводов и дополнительных факторов, возникающих при эксплуатации тепловых сетей.

Для уменьшения потерь теплоты по длине трубопровода в теплосетях используются предварительно изолированные трубы с тепловой изоляцией из пенополиуретана (ППУ). В работе рассмотрены методика расчета тепловых потерь ППУ-изоляции с учетом способа прокладки трубопроводов и дополнительных факторов, возникающих при эксплуатации тепловых сетей [1-2].

В настоящее время тепловые потери магистральных трубопроводов определяются при помощи специальных промышленных испытаний [4] с целью применения их результатов для обоснования нормативных тепловых потерь или расчетных методик. Методика определения

тепловых потерь [4] позволяет определить тепловые потери в квартальных сетях на основе прямых измерений.

Расчетно-аналитические методики [3], основанные на учете норм плотности теплового потока через поверхности изоляции трубопроводов, не учитывают потери тепла, обусловленные «старением» тепловой изоляции, а также влияние состава и влагосодержания грунта на увеличение и изменения тепловых потерь, обусловленные составом грунта, природными условиями местности и глубиной заложения трубопроводов теплосети. Для учета этих дополнительных факторов при оценке тепловых потерь необходимо вводить поправочные коэффициенты, определяющие реальные условия эксплуатации, и тогда реальные тепловые потери труб с ППУ-изоляцией при транспортировке теплоносителей будут выше.

С учетом вышеизложенных факторов проведен расчет общих тепловых потерь труб с ППУ-изоляцией различного диаметра. Для оценки эффективности работы ППУ-труб были рассмотрены только линейные тепловые потери по длине трассы через наружную поверхность трубопровода без компенсации температурных деформаций. Тогда интегральные тепловые потери трубопровода на участке длиной  $l$  можно рассчитать по формуле:

$$Q_m = q_e \cdot l, \quad (1)$$

где  $q_e$  – действительные удельные тепловые потери изолированным трубопроводом, кВт·ч/час;  
 $l$  – длина рассматриваемого участка тепловой сети, м.

Действительные удельные тепловые потери изолированным трубопроводом определяются по формуле:

$$q_e = k \cdot (t_{mn} - t_{oc}), \quad (2)$$

где  $k = 1/R_T$  – коэффициент теплопередачи для единицы длины теплосети, Вт/м·К;

$R_T$  – действительное полное термическое сопротивление изолированного трубопровода, м·К/Вт;

$t_{m.n.}$  и  $t_{o.c.}$  – температуры теплоносителя (т.н.) и окружающей среды (о.с.) соответственно, °С.

При расположении изолированного трубопровода в каналах и бесканально, температура окружающей среды принимается равной средней расчетной среднегодовой температуре грунта заложения трубопроводов, которая равна +5°С [3].

Величина  $R_T$  определяется в зависимости от способа прокладки трубопроводов и в общем случае определяется как аддитивная сумма отдельных термических сопротивлений:

$$R_T = \sum_{i=0}^4 R_j, \quad (3)$$

где  $R_1 = R_e = \frac{1}{\pi \alpha_e d_n}$  – термическое сопротивление внутренней стенки трубопровода;

$R_2 = R_{u3} = \frac{\ln \frac{d_{u3}}{d_n}}{2\pi \lambda_{u3}}$  – термическое сопротивление основного изоляционного слоя;

$R_3 = R_n = \frac{\ln \frac{d_{u2}}{d_\kappa}}{2\pi \lambda_n}$  – термическое сопротивление защитного покрытия;

$R_4 = R_u = \frac{1}{\pi \alpha_n d_\kappa}$  – термическое сопротивление теплоотдаче от поверхности изоляции к

окружающему воздуху;

где  $\alpha_v, \alpha_n$  – соответственно коэффициенты теплоотдачи от теплоносителя к внутренней стенке трубопровода и от наружной поверхности изоляционной конструкции в окружающую среду. Ввиду того, что  $\alpha_v \gg \alpha_n$ , то при выполнении этого условия величиной  $R_6$  можно пренебречь.

$d_{из} = d_H + 2 \cdot \delta_{из}$  – наружный диаметр основного слоя изоляции, м;

$d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м.

$\lambda_{из}, \lambda_n$  – коэффициенты теплопроводности основного и покровного слоя изоляции, Вт/(м·К);

$d_k$  – наружный диаметр покрытия, м.

Бесканальная прокладка двутрубных теплосетей с тепловой изоляцией из ППУ в расчетах тепловых потерь предполагает необходимость учитывать увлажнение изоляции, которое приводит к увеличению ее теплопроводности, поэтому точная оценка количественного влияния данного фактора затруднительна вследствие сложности определения степени увлажнения таких участков.

Подземная прокладка трубопровода влечет за собой адсорбирование влаги из воздуха или грунта, которая может проникать через поврежденные участки верхнего защитного слоя в материал теплоизоляции, что может привести к ухудшению ее защитных свойств.

Во время движения теплоносителя по теплосетям происходит частичная просушка тепловой изоляции, в ее слое начинаются теплообменные процессы, возникают и устанавливаются нестационарные температурные поля. При этом перепады тепло- и влагообменных процессов как правило имеют противоположную направленность. Изменение температуры в слое близко к линейному, а изменение влагосодержания нелинейно с увеличением влагосодержания к границе верхнего защитного слоя. Данные процессы важно учитывать при бесканальной прокладке, так как трубопровод находится в прямом контакте с грунтом.

При подземной бесканальной прокладке тепловая энергия с поверхности покровно-защитного слоя передается непосредственно грунту, т.е.  $R_n = R_\Gamma + R_{дон}$ . Значение  $R_\Gamma$  определяется по формуле Форхгеймера [5]:

$$R_\Gamma = (2\pi\lambda_{zp})^{-1} \cdot \ln \left[ d_k^{-1} \cdot \left( 2h + \sqrt{4h^2 - d_k^2} \right) \right] \quad (4)$$

где  $R_\Gamma$  – термическое сопротивление грунта,

$\lambda_{zp}$  – теплопроводность грунта,

$h$  – глубина заложения оси трубопровода от поверхности земли, м.

Коэффициент теплопроводности грунта  $\lambda_{zp}$  зависит от структуры грунта и его влажности, в расчетах тепловых потерь его значение в условиях бесканальной прокладки в песчаном мерзлом грунте было принято равным  $\lambda_{zp} = 3,7$  Вт/(м·К).

В двутрубных тепловых сетях при бесканальной прокладке наблюдается сильный прогрев слоя грунта между трубопроводами, который уменьшает теплоотдачу от изоляции к грунту. В этом случае необходимо учесть добавочное условное термическое сопротивление грунта, определяемое по выражению [5]:

$$R_\Gamma = (2\pi\lambda_{zp})^{-1} \cdot \ln \left[ \left( \sqrt{1 + \frac{2h}{b^2}} \right) \right] \quad (5)$$

где  $b$  – горизонтальное расстояние между осями труб, м;

При бесканальной прокладке с типовой конструкцией теплосети:  $b \approx 1,5d_k$ .

Расчетные теплотери изолированных теплопроводов с изоляционными материалами марок «Пенополиуретан» приведены в табл. 1. Суммарные тепловые потери трубопровода определились на участке длиной  $l = 1000$  м.

Таблица 1

Расчет линейных тепловых потерь магистрального участка теплосети (т/с)

Способ прокладки труб	$t_{o.c.},$ °C	$t_{т.н.},$ °C	$\delta_{из},$ м	$\lambda,$ Вт/м·К	$d_{из},$ м	$d_k,$ м	$R_{из},$ м·К/Вт	$R_n,$ м·К/Вт	$R_T,$ м·К/Вт	$q_e,$ Вт/м	$Q_T,$ Гкал/с
$d_{вн} = 530\text{мм}$											
подземная канальная прокладка т/с	5	70	0,072	0,0373	0,673	0,6736	1,019	0,059	1,1	58	311
		90		0,0411			0,925		0,98	76	406
подземная бесканальная прокладка т/с	5	70	0,079	0,0373	0,6878	0,6884	1,112	0,182	1,3	49	264
		90		0,0411			1,009		1,2	70	374

Расчетные значения удельных тепловых потерь  $q_e$  сравнивались с нормативными значениями тепловых потерь  $(q_e)_{норм}$  при тех же условиях эксплуатации и показаны на графике зависимости удельных тепловых потерь от температуры теплоносителя (т.н.). Сравнительный анализ показал, что расчетные значения удельных тепловых потерь  $q_e$  не превышают нормативные  $(q_e)_{норм}$ .

Следует отметить то, что с увеличением  $d_y$  тепловые потери возрастают, что, очевидно, связано с увеличением поверхности теплообмена.

#### Выводы

Расчеты тепловых потерь предварительно изолированных пенополиуретаном магистральных труб теплосети при канальном и бесканальном расположении подтверждают эффективность этого вида тепловой изоляции. Расчеты удельных тепловых потерь для стандартных диаметров труб теплосети проведены по методике определения нормативов тепловых потерь при передаче тепловой энергии с учетом дополнительных факторов, имеющих место при эксплуатации тепловых сетей. Значимость полученных результатов для транспортировки тепловой энергии в системах теплоснабжения состоит в доказательстве энергетической эффективности использования ППУ-труб для повышения надежности теплосетей и сокращения нормативных и сверхнормативных потерь энергии.

#### Список литературы

1. Манюк В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. М.: Книжный дом, Либроком, 2009. 432 с.
2. Канев С.Н. Расчет теплотерь в системах теплоснабжения /С.Н. Канев, А.А. Ивашкевич // ЭНИ «Ученые заметки ТОГУ». 2013. т. 4. № 4. С. 1975–1998.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М. : МЭИ, 2001. 472 с.
4. Lianying Z. Thermo-economic analysis for directly-buried pipes insulation of district heating piping systems /Z. Lianying, W. Zhenni, Y. Xiaohu, J. Liwen, Z. Qunli, H. Wenju // Energy procedia. 2017. № 105. P. 3369–3376.
5. Kayfeci M. Determination of energy saving and optimum insulation thicknesses of the heating piping systems for different insulation materials // Energy and buildings. 2014. № 69. P. 278–284.

УДК 692.232:691:699.86

**Засько Виталий Васильевич**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры проектирования  
и технологии строительства ИСА и ЖКХ,  
**ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»;**  
**Малыгина Оксана Александровна**  
ст. преподаватель кафедры проектирования  
и технологии строительства ИСА и ЖКХ,  
**ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»**

### ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

*В данной статье представлены результаты натурного обследования ограждающей конструкции жилого дома после реконструкции, определены тепловые потери через ограждающую конструкцию наружной стены с термоизоляцией. Установлено, что с течением времени при эксплуатации здания показатели тепловой защиты соответствуют требованиям нормативных документов по тепловой защите зданий.*

*Ключевые слова: натурное обследование, тепловая изоляция, тепловые потери, тепловизор,*

Одним из способов оценки качества тепловой защиты здания является тепловизионный контроль. Современные тепловизионные системы позволяют быстро и точно выявить участки с повышенными теплопотерями и определить их границы.

Контроль качества тепловой защиты ограждающих конструкций включает следующие этапы: подготовка средств измерения и оборудования, внутренняя тепловизионная съемка ограждающих конструкций, наружная тепловизионная съемка фасадов, мониторинг теплового режима ограждающих конструкций, обработка результатов и подготовка протокола испытаний.

Тепловизионное обследование является эффективным средством контроля теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий и сооружений. В его основу положено свойство тепловизионного наблюдения бесконтактно регистрировать распределение температуры по поверхностям ограждающих конструкций

**Цель работы:** измерение уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций здания массовой застройки после реконструкции в условиях эксплуатации.

**Объект обследования:** многоквартирный, 5-ти этажный, 3-х секционный жилой дом по адресу г. Луганск, кв. Солнечный, 27. (Постройка 1968 года, реконструкция – 2009 год).

Для выполнения работ по комплексному тепловизионному обследованию использован тепловизор «Testo875–2i» (Тип объектива: Стандартный 32°; Серийный номер объектива: 20336261).

Испытания проведены: 09.12.2023г.

Погодные условия для наблюдения (в соответствии с рекомендациями ГОСТ 31937-2011 и ГОСТ26629-85 [5, 6]):

- температура наружного воздуха,  $t_n = -2,0^{\circ}\text{C}$ ;
- температура воздуха в помещениях 10,0-22,0 °С;
- скорость ветра 2-3 м/с;
- относительная влажность атмосферного воздуха 78,2 %;

- относительная влажность внутри помещений 60,3 %;
  - пасмурная (облачная) погода;
  - отсутствие прямого солнечного света.
- Конструкция наружной стены представлена на рис. 1.

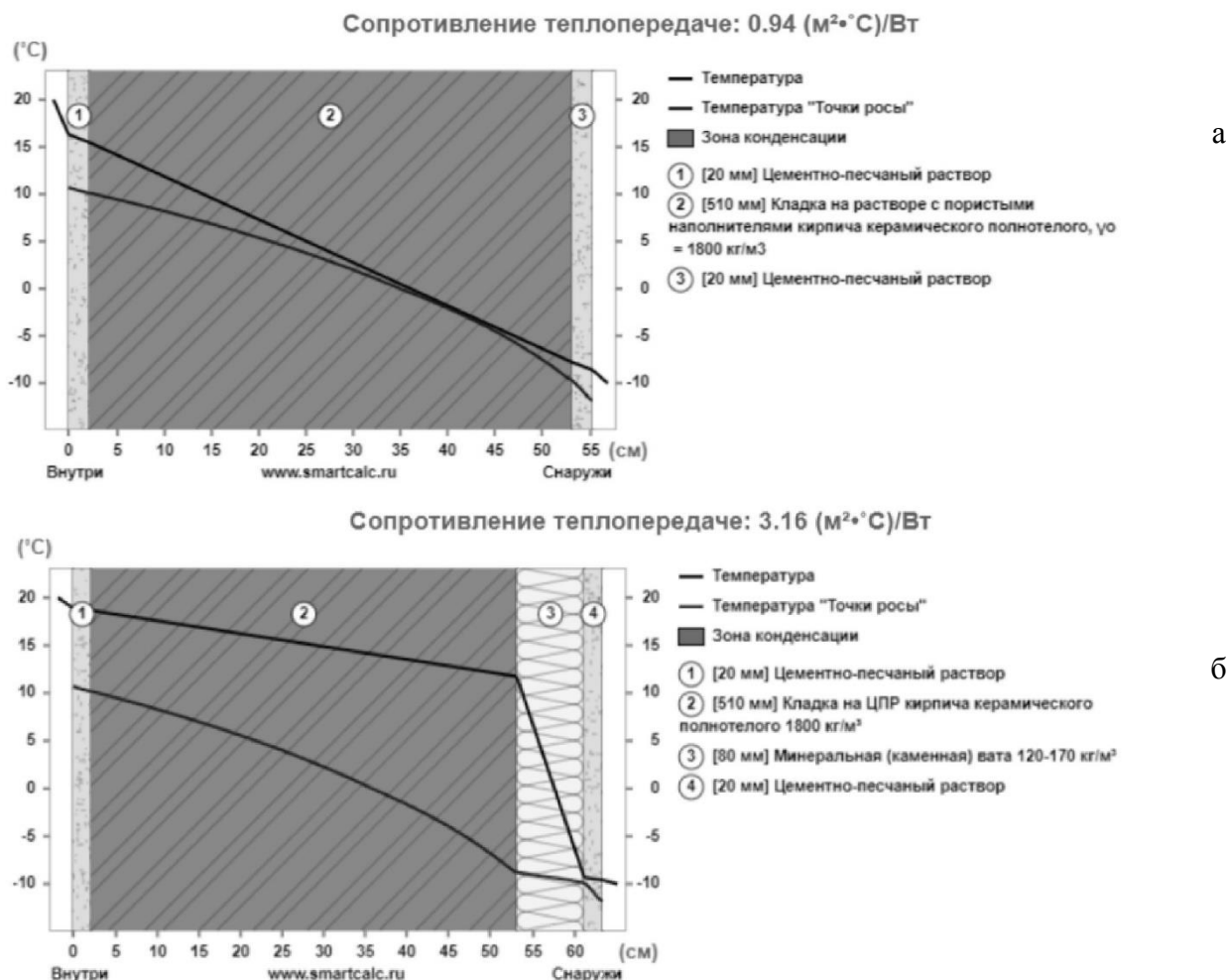
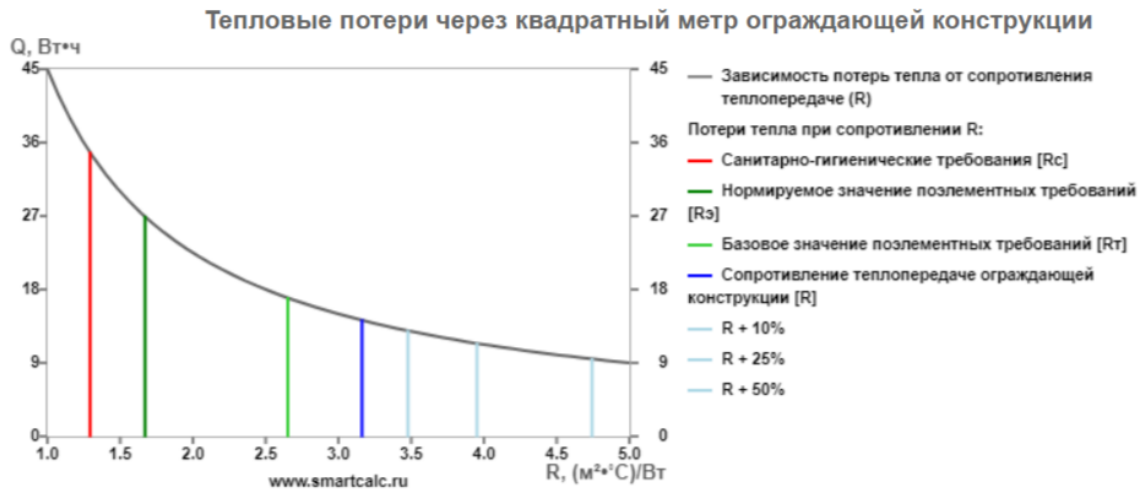
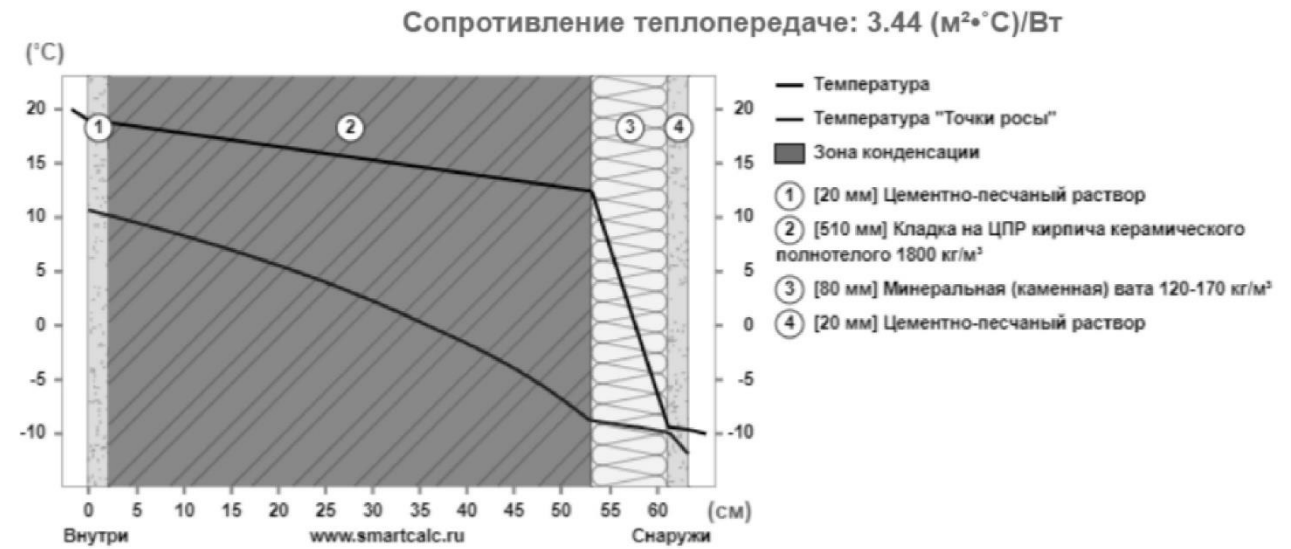


Рисунок 1 - Конструкция наружной стены с утеплением IZOVOL (сгенерирован программой свободного доступа Internet: [www.smartcalc.ru](http://www.smartcalc.ru), разработчик В. А. Киреев) а – до реконструкции; б – после реконструкции.

Согласно действующим нормам [1, 2] произведен теплотехнический расчет, в результате которого определено расчетное (проектное) сопротивление теплопередаче конструкции наружной стены здания (см. рисунок 1, а), которое составило  $R_0 = 0,94 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ . Согласно санитарно-гигиеническим нормам требуемое сопротивление теплопередачи равняется  $R_c = 1,29 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ . Так как  $R_0 \leq R_c$ , то ограждающая конструкция не удовлетворяет нормам по тепловой защите и эксплуатация такой конструкции недопустима. Необходимо произвести утепление наружной стены. На рис. 1 б показан такой вариант утепления с помощью IZOVOL. Как видно из рис. 1 б,  $R_0 = 3,16 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , что больше  $R_c$ , что удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

В результате эксплуатации ограждающие конструкции здания теряют свои первоначальные теплотехнические характеристики. На рис. 2 показана схема здания и теплопотери для утепленной кирпичной стены, которая находилась в эксплуатации.





Загрузить график

**Потери тепла через 1 м<sup>2</sup> за один час при сопротивлении теплопередаче (Вт·ч)**

Сопротивление теплопередаче	R	±R, %	Q	±Q, Вт·ч
Санитарно-гигиенические требования [Rc]	1.29	-59.10	34.80	20.57
Нормируемое значение поэлементных требований [Rэ]	1.67	-47.16	26.93	12.70
Базовое значение поэлементных требований [Rт]	2.65	-16.12	16.97	2.74
Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции [R]	3.16	0.00	14.23	0.00
R + 10%	3.48	10.00	12.94	-1.29
R + 25%	3.95	25.00	11.39	-2.85
R + 50%	4.74	50.00	9.49	-4.74
R + 100%	6.32	100.00	7.12	-7.12

Потери тепла через 1 м<sup>2</sup> за отопительный сезон **27.16 кВт·ч**  
 Потери тепла через 1 м<sup>2</sup> за 1 час при температуре самой холодной пятидневки **14.23 Вт·ч**

Рисунок 2 - Тепловые потери для утепленной кирпичной стены

Натурное обследование включало в себя измерение уровня теплозащиты наружных ограждающих конструкций, в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [1].

Натурное обследование и обработка результатов проведено по «Комплексной методике контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений», утвержденной Госстроем РФ и рекомендованной к использованию при проведении контроля качества тепловой изоляции ограждающих конструкций в натуральных условиях (письмо Госстроя России № 9-14/932 от 23.12.2002 г.).

Тепловизионная съемка может наглядно обнаружить дефекты, связанные с повышенной теплопроводностью и воздухопроницаемостью: дефекты конструкций и материалов, стыков между отдельными элементами конструкций, участки повышенной экс- и инфильтрации.

Метод определения теплозащитных свойств ограждающих конструкций и теплоаккумулирующей способности здания основан на мониторинге теплового режима ограждающих конструкций в натуральных условиях эксплуатации с помощью контактных датчиков температуры внутреннего и наружного воздуха, а также датчиков плотности теплового потока, проходящего через ограждающие конструкции. Данные измерений температуры и плотности тепловых потоков регистрируют круглосуточно с интервалом не более 30 мин. Показатели тепловой защиты приняты в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [1], и СП 23-101-2004 «Строительная теплотехника. Проектирование зданий и сооружений» [2].

**Результаты обследования.** Тепловизионное обследование, контрольные измерения и обработка результатов выполнены в соответствии с ГОСТ 26629-85 «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» [3], СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология» [4] и др.

В ходе натуральных испытаний тепловизионной защиты проведена наружная тепловизионная съемка ограждающих конструкций здания (рис. 3).

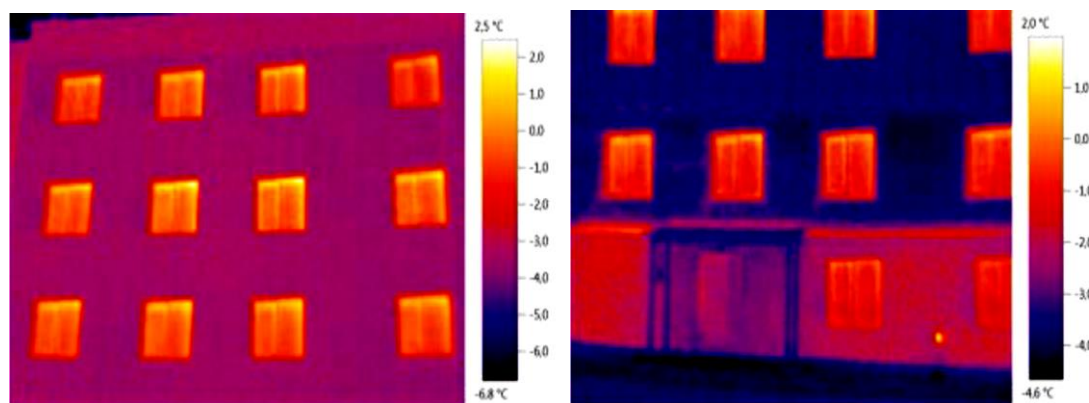


Рисунок 3 - Термограммы различных участков наружных ограждающих конструкций

Термограммы сопровождаются температурной шкалой и фотографиями обследованных конструкций. Температурная шкала устанавливает соответствие цвета на термограмме температуре на поверхности, для ряда термограмм может быть приведена одна температурная шкала.

Результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>·°С/Вт

№ п/п	Элемент ограждающих конструкций	Приведенное сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> ·°С/Вт	
		Нормативное значение	Фактическое значение
1	Наружные стены (цокольный этаж)	2,8	3,01
2	Наружные стены (жилые помещения)	2,8	4,37
3	Наружные стены (жилые помещения)	2,8	4,0

Для определения на основании замеренных данных количество теплоты переданной через фрагмент стены с одинаковой температурой на наружной поверхности, применили закон Фурье, устанавливающий прямую зависимость между поверхностной плотностью теплового потока и температурным градиентом. Выведенная из уравнения Фурье формула для однослойной плоской стенки позволяет определить поверхностную плотность теплового потока:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где q – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м·°С (для кладки на цементно-песчаном растворе кирпича керамического полнотелого плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda=0.81$  Вт/(м·°С))

$\delta$  - толщина стенки, м,  $\delta = 0,510$  м (см. рис.1);

$\Delta t$  - температурный перепад  $\Delta t = t_1 - t_2$  ( $t_1$  и  $t_2$  - температуры на границах стенки составили в ходе замеров  $t_1 = +4,7$  °С и  $t_2 = +25$  °С, соответственно  $\Delta t = 20,3$  °С)

Подставив значения, получим:  $q=27,16$  Вт/м<sup>2</sup>

Теперь, зная поверхностную плотность теплового потока q, определили общее количество теплоты, переданной за 1 час через стенки поверхности F (м<sup>2</sup>), по формуле 2.13 [8]:

$$Q=q \cdot F=27,16 \cdot 0,78=21,18 \text{ Вт} \quad (2)$$

Площадь стенки F принята по температурной зоне прицельной точки в виде приближенного к форме треугольника фрагмента,  $F = 0,78$  м<sup>2</sup>. В пересчете на 1 м<sup>2</sup> при температурном перепаде  $\Delta t = 20,3$ °С теплотери составили 21,18 Вт.

**Выводы.** В результате проведенных работ было измерено фактическое значение сопротивления теплопередаче наружной стены, а также рассчитано сопротивление теплопередачи стены. Участки ограждающих конструкций с пониженной температурой не выявлены. Произведен расчет теплотехнических параметров ограждающих конструкций.

Приведенное сопротивление теплопередаче стен (табл. 1) удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите.

Теплоаккумулирующая способность здания и теплозащитные свойства ограждающих конструкций удовлетворительные. Расчетный темп падения температуры воздуха в помещениях не превышает установленных МДС-41-6.2000. «Организационно-методические рекомендации по подготовке к проведению отопительного периода и повышению надежности систем коммунального теплоснабжения в городах и населенных пунктах РФ»

### **Список литературы**

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуальная редакция СНиП 23-02-2003, М., 2012.
2. СП 23-101-2004 Строительная теплотехника. Проектирование тепловой защиты зданий, М., 2004.
3. ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций, М., 1985.
4. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*, М., 2012.
5. ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, М., 1985.
6. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния, М., 2011.

УДК 628.1

**Зайченко Людмила Геннадьевна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ВВ и ОВР;  
**Донской Александр Александрович,**  
**Хохлачёв Роман Евгеньевич,**  
студент гр. ЗВВм – 53а кафедры ВВ и ОВР,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА В ДНР

*На базе аналитических данных, финансово-производственных отчётов предприятия, эксплуатирующего в населенном пункте объекты и сооружения водоснабжения, проведённых сезонных исследований работы сетей в полевых условиях, разработаны мероприятия по приоритетности для повышения надёжности работы системы и повышения качества предоставления услуг, разработана финансовая модель и определённые индикаторные показатели достижения цели.*

*Ключевые слова: гидравлический расчёт, гидравлическое моделирование, водопроводная сеть, гидравлическая модель.*

**Введение.** Разработка рекомендаций по повышению надёжности функционирования систем водоснабжения, улучшение качества услуг, обеспечение рационального использования материальных, энергетических и других ресурсов производится на основании выявленных основных недостатков системы. Список мероприятий на перспективу формируется на основе отечественного и мирового опыта развития системы водоснабжения.

После разработки обобщённого перечня мероприятий по развитию систем водоснабжения, производится их систематизация по основным направлениям:

- повышение качества питьевой воды, подаваемой потребителям;
- повышение надёжности систем водоснабжения, улучшение качества их услуг;
- снижение негативного антропогенного воздействия предприятий водоснабжения на окружающую среду;
- повышение эффективности использования материальных, энергетических и других ресурсов.

Конкретные мероприятия, предусматриваемые в схеме оптимизации, группируются в рамках одного из направлений, позволяющего таким образом получить структурированный перечень мероприятий. Систематизация мероприятий по значимости и времени выполнения необходима для создания реального плана их реализации.

*Целью работы* является оценка действующей системы водоснабжения населённого пункта в структуре ГУП ДНР «ВОДА ДОНБАССА» для оптимизации её работы и снижения затрат на обслуживание.

**Основная часть.** Анализ существующего состояния системы водоснабжения населенного пункта выявил следующее. Водораспределение потребителям производится по системе трубопроводов, имеющей 86 % износа и состоит на 73 % из аварийных и старых участков. Количество сетей, подлежащих замене и модернизации, ежегодно недостаточно для поддержания системы водоснабжения на достаточном уровне эксплуатации.

Гидравлическое моделирование проведено в лицензионном программном обеспечении Mike Urban с использованием электронно-картографического графа инженерной сети. Приведен результат гидравлического расчёта для максимального и минимального часового

водопотребления с целью оценки работоспособности системы в условиях, отличных от нормальных, для выявления возможных проблем водоснабжения, а также для разработки мер, исключающих падение свободных напоров и снижение подачи ниже предельных значений.

Рекомендации и мероприятия для повышения оптимизации распределения питьевой воды представлены в таблицах 1-5.

Таблица 1 – Рекомендации по оптимизации общепроизводственного процесса эксплуатации и обслуживания системы водоснабжения

№	Мероприятия
1	Покупка оборудования для постоянной инвентаризации в полевых условиях инженерных сетей, выявление точек несанкционированного потребления питьевой воды, поиск скрытых утечек.
2	Приобретение манометрического оборудования для оперативного снятия технологических характеристик сетей
3	Разработка проектно-сметной документации на реконструкцию водовода
4	Обновление парка машин и механизмов предприятия, приобретение ремонтного оборудования, приобретение экскаватора-погрузчика.
5	Организация автоматизированного рабочего места специалиста центрального диспетчерского пункта предприятия, эксплуатирующего муниципальную водопроводную сеть.
6	Организация автоматизированного центрального диспетчерского пункта.

Таблица 2 – Рекомендации по оптимизации работы и инженерных объектов сетей водоснабжения населенного пункта

№	Мероприятия
1	Модернизация водопроводной насосной станции водозла населенного пункта с установкой ультразвуковых уровнемеров в резервуаре питьевой воды, заменой насосного оборудования, оснащение защёлок электроприводами, организация измерительных участков и установка технологических расходомеров.
2	Замена аварийных участков сетей, задвижек, люков.
3	Реконструкция промывных агрегатов на источнике водоснабжения – фильтровальной станции.

Таблица 3 – Рекомендации по оптимизации водоснабжения многоквартирной застройки населенного пункта

№	Мероприятия
1	Инвентаризация в полевых условиях квартальных водопроводных сетей, проведение манометрической съёмки, зонирование распределения воды.
2	Установка узлов учёта распределения питьевой воды на многоквартирную застройку. Урегулирование вопросов заключения договоров с жилищными компаниями, обслуживанием данных узлов.

Таблица 4 – Рекомендации по улучшению качества питьевой воды

№	Мероприятия
1	Приобретение резервной станции дополнительного обеззараживания воды с применением гипохлорита натрия на водозле населенного пункта.
2	Оснащение учебных заведений автономными станциями обеззараживания питьевой воды.

Таблица 5 – Рекомендации по оптимизации управления процессом водораспределения

№	Мероприятия
1	Организация системы сбора и передачи информации основных технологических параметров Q-Н с установкой узлов контроля на магистральном водоводе, на муниципальных сетях
2	Установка узлов технологического контроля объёмов воды на сетях
3	Установка домовых приборов объёмов реализуемой воды потребителям многоэтажной застройки

Оценка стоимости выполнения мероприятий проводится на основании строительных и других норм, коммерческих предложений фирм-поставщиков оборудования, установленных государством цен на стоимость разработки проектно-сметной документации, сметной части существующих проектов и т.д.

Для каждого из мероприятия определяются индикаторные показатели (экономические, социальные, экологические), которые должно быть достигнуто в результате их выполнения. Финансовое обеспечение выполнения всех мероприятий происходит за счет средств государственного, местного бюджетов и других источников.

**Выводы.** Разработаны мероприятия, направленные на снижение потерь воды, а также удельных норм расхода электроэнергии на оказание услуг водоснабжения. По своей приоритетности меры, предусмотренные в схеме оптимизации, разделены следующим образом: неотложные – от выполнения которых зависит функционирование системы в целом; первоочередные, оказывающие значительное влияние на состояние системы водоснабжения, качество воды, подаваемой потребителям, уровень отрицательного воздействия на окружающую природную среду; на перспективу – направлены на постепенное увеличение эффективности работы предприятия и качества услуг, предоставляемых потребителям.

### Список литературы

1. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* [Текст]. – Введ. 2013.01.01. – М. : Минрегион России, 2012. – 124 с.
2. Алексеев, Е. В. Моделирование систем водоснабжения и водоотведения/ Учебное пособие [Электронный ресурс] // Е. В. Алексеев, В. Б. Викулина, П. Д. Викулин – Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. – 128 с.
3. Сомов, М. А. Водоснабжение. Том 1. Системы забора, подачи и распределения воды. Учебник для вузов / М. А. Сомов, М. Г. Журба. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 2008 – 260 с.
4. Зайченко, Л. Г. Технологические расходы питьевой воды для системы централизованного водоснабжения / Л. Г. Зайченко, О. Р. Гарипова, А. В. Воробьев // Электронный сб. статей по мат-ам III открытой межд. очно-заочной научно-практ. конф. молодых ученых и студентов «Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений», 4 февраля 2022 г., г. Макеевка, 2022. – С. 165-170.
5. Методические указания по расчёту потерь горячей, питьевой, технической воды в централизованных системах водоснабжения при ее производстве и транспортировке [Текст]. Дата введения: 17.10.2014. / Минстрой РФ. – 2014.
6. Ручка, В. В. Анализ технологических расходов питьевой воды для систем муниципального водоснабжения и канализации / В. В. Ручка, С. С. Иванов, И. А. Янов // Электронный сб. статей по мат-ам III открытой межд. очно-заочной научно-практ. конф. молодых учёных и студентов «Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений», 4 февраля 2022 г., г. Макеевка, 2022 г. – С. 170-174.

УДК 628.1

**Зайченко Людмила Геннадьевна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ВВ и ОВР;  
**Марченко Владислав Александрович**,  
студент гр. ВВм – 50б;  
**Головко Виктор Александрович**,  
студент гр. ЗВВм– 53а кафедры ВВ и ОВР,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА В СТРУКТУРЕ ГУП ДНР «ВОДА ДОНБАССА»**

*Выполнен анализ существующей системы подачи и распределения воды города. По результатам гидравлического расчёта выявлены основные недостатки существующей системы водоснабжения. В работе использовались статистические методы обработки исходных данных, гидравлический расчёт централизованной системы водоснабжения города выполнен с помощью программного комплекса MIKE NET.*

*Ключевые слова: водопроводная сеть, регуляторы давления, магистральные водоводы, централизованная система водоснабжения*

**Введение.** Проблема рационального использования воды и устранения ее потерь представляет в настоящее время одну из актуальнейших задач. Потери воды могут быть велики, что приводит к значительным затратам, препятствует дальнейшему улучшению водоснабжения потребителей и решению задач в области охраны природы. В настоящее время на повестку дня выдвинута неотложная задача – обновление водопроводных систем, поэтому данные разработки в основном направлены на создание мероприятий по снижению потерь воды в системе водоснабжения города.

Важнейшим элементом инженерных систем являются трубопроводы водоснабжения, которые должны бесперебойно подавать воду потребителям в требуемых количествах с необходимым напором. Рациональное использование питьевой воды зависит не только и даже не столько от улучшения методов ее добычи, сколько от усовершенствования всего процесса подачи, транспортировки и распределения воды, и в немалой степени, от результатов борьбы с нерациональным ее использованием и потерями воды в системе.

*Целью работы* является решение проблем организации рациональной подачи и использования питьевой воды, а также предотвращения ее значительных потерь на основе результатов обследования централизованной системы водоснабжения города.

**Основная часть.** Основной задачей централизованного водоснабжения является подача потребителю холодной воды заданных параметров и качества. Если качество воды определяется качеством работы водоочистных сооружений, то параметры (давление, расход) определяются параметрами системы водоснабжения и возможностью их изменения.

Выполнен анализ существующей системы подачи и распределения воды города. Основой расчетной схемы послужил план водопроводной сети города, включающий все трубопроводы, с помощью которых осуществляется распределение воды, т.е. схема магистральных трубопроводов. В подготовку технической документации также вошли работы по установлению укрупненных узловых расходов воды, уточнению производительности насосной станции, требуемых напоров и т.д.



После этого была составлена расчетная схема водопроводной сети, на которой были выделены магистральные трубопроводы, подсчитана протяженность участков сети, указаны их диаметры, материал труб, определены геодезические отметки поверхности земли в узлах.

На основании таких расчетов были выявлены:

- участки, на которых возникают большие потери напора;
- узлы, в которых расчетные напоры существенно отличались от требуемых;
- отсутствие зонного разграничения подачи и распределения воды;
- расположение диктующих точек и «узкие места» в системе водоснабжения.

Основными требованиями, предъявляемыми к действующей системе подачи и распределения воды, являются надежность, бесперебойность, обеспечение водой всех потребителей в заданном количестве и с требуемым напором. При работе водопровода во всех точках сети должен быть обеспечен нормативный свободный напор.

При централизованном водоснабжении населенных пунктов, в особенности городов, возникают следующие проблемы:

- с одной стороны, очень низкое давление воды или даже ее отсутствие во время пиковых отборов на последних этажах многоэтажных зданий;
- с другой стороны, очень высокое давление воды в рядом стоящих малоэтажных зданиях.

Так происходит из-за того, что особенностью застройки городов является разноэтажность, а в ряде городов большие различия высот рельефа в местах настройки. Таким образом, получается, что на одной ветке водоснабжения находится группа зданий разной высотности, следовательно, на входе в эти здания давление одинаковое (если не учитывать особенности рельефа).

Таким образом, в малоэтажных зданиях давление значительно выше необходимого, т.к. оно рассчитано и поддерживается из расчета подачи воды на самые верхние этажи многоэтажных зданий.

В результате получается следующая картина:

- в малоэтажных зданиях перерасход воды (т.к. расход пропорционален корню квадратному от входного давления), плюс ускоренный износ трубопроводной арматуры (из-за высокого давления) и как результат еще потери воды из-за течей (капающий кран – 13 литров/сутки, текущий бачок 130 литров/сутки);
- в высокоэтажных зданиях низкое давление на верхних этажах (уменьшение комфорта) и даже полное отсутствие воды во время пиковых разборов.

Описанная ситуация ухудшается еще и из-за рельефа местности, в самом худшем случае, когда высокоэтажные здания находятся на местности выше малоэтажных.

Все эти проблемы являются проблемами системы водоснабжения и отсутствием средств регулировки ее параметров.

Попытки улучшить состояние при помощи применения насосов подкачки воды не решают все проблемы, так как насосы подкачки исправляют ситуацию в отдельном здании, и никто не знает какие изменения, они внесут в параметры системы; они требуют дополнительных затрат электроэнергии.

Самым оптимальным в решении этой проблемы является установка на вводах воды в здания регуляторов давления воды. Применение регуляторов давления воды позволяет понизить на вводах в малоэтажные здания давление воды на входе до требуемого для обеспечения комфорта.

В результате этого расходы воды в малоэтажной застройке сократятся до оптимальных и, следовательно, параметры системы водоснабжения будут стремиться к номинальным. Увеличится давление во всей системе, что позволит улучшить водоснабжение многоэтажных и стоящих на возвышенности зданий.

Установка регуляторов давления позволит:

1. Понизить до оптимально потребного давление воды на входах в малоэтажные здания, а, следовательно, уменьшить в них расходы воды.
2. Значительно снизить потери воды за счет уменьшения течей в водоразборной арматуре и бачках.
3. Оптимизировать систему, так как регуляторы позволяют в каждом здании независимо от этажности и расположения (благодаря возможности настройки) обеспечить нужное давление на входе в здание.
4. Повысить давление в основной питающей магистрали (за счет экономии в малоэтажных зданиях) и, следовательно, обеспечить необходимое давление на входах в многоэтажные и (или) в высокорасположенные здания.

**Выводы.** Применение регуляторов давления позволит в значительной степени решить проблемы систем водоснабжения. Кроме того, регуляторы давления надежны в эксплуатации, а затраты на их установку минимальны. Установка регуляторов давления необходима для устранения существующего избыточного давления на сетях города. После установки и наладки оборудования сократятся как напоры в системе, так и аварийные ситуации, вызванные избыточным давлением.

### **Список литературы**

1. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* [Текст]. – Введ. 2013.01.01. – М. : Минрегион России, 2012. – 124 с.
2. Захаревич, М. Б. Повышение надёжности работы систем водоснабжения на основе внедрения безопасных форм организации их эксплуатации и строительства: учеб. пособие / М. Б. Захаревич, А. Н. Ким, А. Ю. Мартынова; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 62 с. ISBN 978-5-9227-0316-1.
3. Лернер, А. Д. Проблемы обоснования величин неучтённых расходов воды в системах водоснабжения и водоотведения / А. Д. Лернер, К. В. Домнин, С. В. Бойко, М. Г. Кочетова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 4. – С. 64-70.
4. Маслак, В. Н. Трубопроводы водоснабжения. Вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации / В. Н. Маслак, Н. И. Зотов // Отечественный и зарубежный опыт. – Донецк, 2007.
5. Зайченко Л. Г. Сокращение технологических расходов и потерь воды на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства / Л. Г. Зайченко, А. В. Клемешова, М. В. Мироненко : Электронный сб. статей по материалам открытой IV международной очно-заочной научно-практической конф. молодых учёных и студентов (27 февраля 2020 г., г. Макеевка) : Макеевка, 2020. – С.278-282.

УДК 628.21

**Григоренко Надежда Ивановна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ВВ и ОВР,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**  
**Макаров Владислав Вадимович**,  
студент группы ВВм-50,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;**  
**Сологуб Мирон Викторович**,  
студент группы ВВм-50,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ УРБАНИЗАЦИИ НА КОЛИЧЕСТВО И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

*С учетом того, что города постоянно растут, их гидрологическая роль выражается главным образом в том, что занимаемая ими территория характеризуется экстремальным состоянием проницаемости поверхности (асфальтовые покрытия, крыши домов). По этой причине количество поверхностного стока растет, а питание подземных вод незначительно. Кроме того, ливневые воды городских территорий являются источниками загрязнения рек и водоемов. Актуальность данной проблемы обусловлена тем, что в будущем в связи с быстрым ростом городов указанные процессы изменения водного баланса и связанного с ним вещественного обмена приобретут большие масштабы. Поэтому изучение влияния роста городов на загрязнение рек, водоемов и на водный баланс территории представляется довольно важным.*

*Ключевые слова: поверхностный сток, урбанизация территорий, расход дождевого стока, качество дождевых вод*

Признаком благоустройства любой территории является создание системы организованного отвода дождевых и талых вод. Поверхностный сток с территории высоко урбанизированных городов и промышленных предприятий имеет, как правило, сложный состав и определяется степенью концентрации населения и городской застройки, характером основных технологических процессов, а концентрация примесей зависит от вида поверхности водосбора, санитарно-технического состояния и режима уборки территории, эффективности работы систем газо- и пылеулавливания на территории промплощадок, организации складирования и транспортирования сырья, промежуточных и готовых продуктов, а также отходов. Дождевые воды загрязняются, главным образом, смывая с поверхности разного рода загрязнения: нефтепродукты, промышленные отходы, продукты разрушения поверхностных покровов.

Наличие на территории города водонепроницаемых покрытий и строений, обуславливает значительно большие коэффициенты поверхностного стока, чем в естественных условиях. Вследствие этого годовой сток с городской территории значительно выше, чем в сельской местности с меньшим процентом застройки и, следовательно, дождевая канализационная сеть должна иметь большую пропускную способность. Однако, встает вопрос, каким образом влияет рост урбанизации городов на пропускную способность существующих сетей, поскольку ее несоответствие действительности может наносить существенный вред окружающей среде, вызывать подтопление и разливы.

Цель работы: оценить источники воздействия и степень влияния повышения уровня урбанизации на количество и качество поверхностных вод.

Россия относится к странам с высоким уровнем урбанизации: согласно переписи населения 2010 года, доля городского населения в стране составила 73,7 %. Во многих развивающихся странах практика городского дренирования не соответствует необходимому уровню по следующим причинам [2]:

- урбанизация происходит чрезвычайно быстро и непредсказуемо. В общем случае урбанизация начинается с территорий, расположенных в низовьях, и затем продвигается выше по течению, что потенциально увеличивает риск вредного воздействия;

- пригородные районы в большинстве случаев развиваются без учета городских норм и правил, либо таких норм и правил просто нет;

- отсутствие надлежащих систем сбора и переработки мусора приводит к загрязнению воды и засорению дренажных труб.

- отсутствие институциональной структуры как основы развития городской дренажной системы на муниципальном уровне, в результате чего - отсутствие регулирования, наращивания потенциала и слабое администрирование.

К факторам, которые существенно меняют режим и качество ливневых вод можно выделить следующие: изменение условий инфильтрации, накопление загрязненного культурного слоя, неисправность ливневой канализации, вырубка лесов, застройка, асфальтирование и бетонирование территории и др.

Воды поверхностного стока с городских территорий сильно загрязнены: смытая в процессе эрозии почва, биогенные элементы, входящие в состав удобрений, применяемых в садах, на газонах, дорожная соль и другие вещества, входящие в дорожное покрытие, сажа и ядовитые вещества из выхлопных газов транспортных средств, а также другие загрязнители воздуха, машинное масло с дорог, автомобильных стоянок, из сточных труб, мусор и растительный опад.

В данной работе предлагается рассмотреть изменения, которые произошли в городах Московской области в период с 1996 года по 2023 год и рассчитать каким образом повлияло увеличение площади застройки и, соответственно, увеличение площади непроницаемых поверхностей на количество поверхностного стока на отдельных территориях. Карты для исследования получены на сайте <http://retromap.ru/>. Для исследования выбраны: города Долгопрудный, Мытищи, Химки, поселки Развилка и Заречье. Наглядность изменений в уровне урбанизации на примере города Долгопрудный приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Часть г. Долгопрудный: слева – 2023 г., справа – 1996 г.

Определение количественных характеристик поверхностного стока с территории водосбора заключается в определении [1]:

- среднегодовых и максимальных суточных объемов поверхностного стока (дождевого, талого, а также при необходимости поливо-моечного), используемых при расчете нормативов ПДС и аккумулирующих резервуаров;
- расчетных расходов дождевых и талых вод в коллекторах дождевой канализации;
- расчетных расходов поверхностных сточных вод при отведении на очистку и в водные объекты.

Исследования влияния уровня урбанизации на количество поверхностного стока дает ясную картину того, что с увеличением площади непроницаемых поверхностей увеличивается количество сточных вод, а, следовательно, должны быть пересчитаны объемы аккумулирующих резервуаров и диаметры трубопроводов.

Данные по исследованию изменения непроницаемости поверхностей приведены в таблице 1.

Таблица 1- Определение коэффициента стока дождевых и талых вод для городов и поселков Московской области в 1996 и 2023 годах

Вид поверхности или площади водосбора	Площадь F, га 1996г.	Площадь F, га 2020г.	Коэффициент стока		
			$\Psi_d$	$\Psi_{mid}$ 1996 г.	$\Psi_{mid}$ 2023 г.
г. Долгопрудный					
Площадь водосбора	35,1 га	35,1 га	-	0,329	0,455
Непроницаемые покрытия	16,1 га	24,9 га	0,6		

Продолжение таблицы 1

Газоны и насаждения	19 га	10,2 га	0,1		
пгт Заречье					
Площадь водосбора	60 га	60 га	-	0,353	0,434
Непроницаемые покрытия	30,6 га	40,3 га	0,6		
Газоны и насаждения	29,8 га	20,1 га	0,1		
г. Мытищи					
Площадь водосбора	35,3 га	35,3 га	-	0,346	0,473
Непроницаемые покрытия	17,4 га	26,3 га	0,6		
Газоны и насаждения	17,9 га	9 га	0,1		
п. Развилка					
Площадь водосбора	34,6 га	34,6 га	-	0,288	0,344
Непроницаемые покрытия	13 га	16,9 га	0,6		
Газоны и насаждения	21,6 га	17,7 га	0,1		
г. Химки					
Площадь водосбора	35,7 га	35,7 га	-	0,411	0,537
Непроницаемые покрытия	22,2 га	31 га	0,6		
Газоны и насаждения	13,5 га	4,7 га	0,1		

Примечание: значение  $\Psi_{mid}$  определяется как средневзвешенная величина в зависимости от значений коэффициента  $\Psi_d$  для различных видов поверхности водосбора [1].

На рисунке 2 представлен график изменения расхода дождевых сточных вод с течением времени и увеличением процента застройки для рассмотренных выше населенных пунктов.

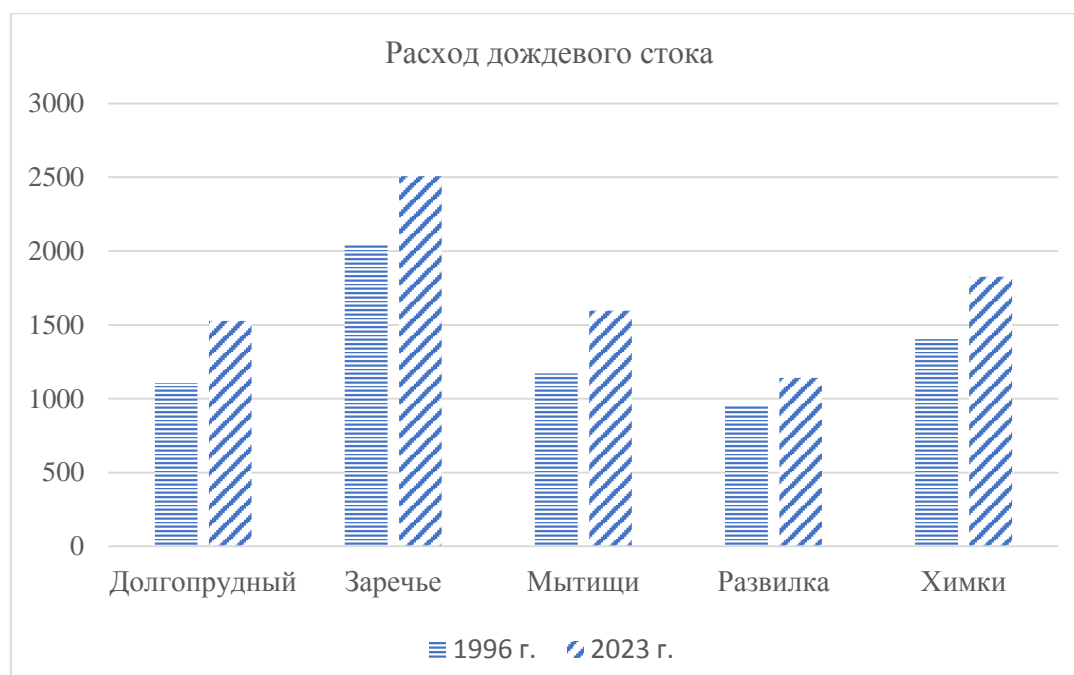


Рисунок 2 – Изменение расхода дождевого стока для населенных пунктов Подмосковья для 1996 и 2023 годов

Из графика видно, что количество сточных вод, а, следовательно, и объем сооружений очистки поверхностного стока для рассматриваемых населенных пунктов увеличилось, также можно сделать вывод о недостаточной пропускной способности существующей ливневой канализации. В таблице 2 приведены рекомендуемые диаметры для расходов 1996 и 2023 годов.

Таблица 2 - Рекомендуемые диаметры для расчетных расходов дождевых вод при одинаковом уклоне трубопровода и работе в напорном режиме.

Населенный пункт	Расход дождевого стока, л/с		Рекомендуемый диаметр, мм	
	1996 год	2023 год	1996 год	2023 год
Долгопрудный	1107	1528	800	1000
Заречье	2043	2508	1100	1200
Мытищи	1171	1597	900	1100
Развилка	954	1140	800	900
Химки	1405	1826	1000	1200

Как видно из таблицы диаметры трубопроводов для правильной работы дождевой сети следует увеличить минимум на один сортимент.

Что касается качественных изменений поверхностного стока с ростом уровня урбанизации, то можно сказать, что оседающие на покрытии автомобильных дорог пыль, продукты износа покрытий, шин и тормозных колодок, выбросы от работы ДВС автомобилей, материалы, используемые для борьбы с гололедом, и т.д. приводят (при смыве дождевыми и талыми водами) к насыщению вод поверхностного стока различными загрязняющими веществами, которые затем могут попасть в водотоки и водоемы. Расчет количества загрязняющих дождевой сток веществ выполняется по методике, приведенной в таблице 10.2 [3]. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Фактический сброс (ФС) загрязнений, поступающих с дождевыми водами в водоем, для второй категории дороги для населенных пунктов Подмосковья

Населенный пункт	ФС 1996 год, г/ч			ФС 2003 год, г/ч		
	Взвешенные вещества	Свинец	Нефте-продукты	Взвешенные вещества	Свинец	Нефте-продукты
Долгопрудный	115372857,6	24,4	2130,0	178433798,4	37,7	3294,2
Заречье	219280089,6	46,4	4048,2	288790444,8	61,1	5331,5
Мытищи	124688678,4	26,4	2301,9	188466220,8	39,9	3479,4
Развилка	93158208,0	19,7	1719,8	121105670,4	25,6	2235,8
Химки	159085555,2	33,7	2937,0	222146496,0	47,0	4101,2

Согласно данным таблицы 3 процент увеличения концентраций с возрастанием непроницаемых поверхностей равняется 23-35%.

Контроль за ситуацией в сфере недопущения негативных последствий влияния повышения уровня урбанизации на сбор и очистку дождевых вод предусматривает комплекс мер по сокращению объема образующегося поверхностного стока либо предотвращение его образования. Озеленение, предназначенное для сбора и отвода поверхностного стока, позволяет успешно функционировать городской инфраструктуре и сделать более комфортной городскую среду, а также это инструмент поддержки социальных связей посредством благоустройства и застройки. Также благоприятно повлиять на условия сбора и отвода поверхностного стока могут следующие мероприятия [4]:

- устройство отвода воды с велосипедных и пешеходных путей;
- благоустройство остановочных пунктов пассажирского транспорта общего пользования;
- посадка деревьев вдоль улиц;
- полоса озеленения;
- дренажная труба/канал;
- биодренажная канава;
- гибридный биодренажный дождевой сад.

### Список литературы

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – Федеральное агентство российской федерации по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (РОССТРОЙ). – ФГУП «НИИ ВОДГЕО» – 2016. – 57 с.
2. Руководство по гидрологической практике. Том II Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. – Всемирная Метеорологическая Организация, изд. 6, 2012. – 324 с.
3. Методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Экологическая безопасность транспортных средств» // Алексенко Д.Н. / СКФУ, Пятигорск, 2018 г – 76 с.
4. Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации: отчет о НИР (заключ.) / ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ»; рук. Немчинов Д.М.; исполн.: Трофименко Ю.В., Евстигнеева Н.А., Лобиков А.В., Муравьев А.В., Царьков И.С. – М., 2019 – 181 с.



УДК 622.692

**Козлов Владимир Вадимович**,  
магистрант 1-го курса кафедры ТТГВ;  
**Коломийцева Светлана Васильевна**,  
магистрант 1-го курса кафедры ТТГВ;  
**Удовиченко Злата Викторовна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*Природный газ является высокоэффективным энергоносителем, в условиях современной экономической обстановки в стране газификация может составить основу социально-экономического развития, обеспечить улучшение условий труда и быта населения, а также снижение загрязнения окружающей среды.*

*В данной статье будут рассмотрены особенности составления проектов в городах со сложными инженерно-геологическими условиями. Проанализированы особенности проектировки газопроводов в сложных инженерно-геологических условиях и установлено, что наиболее оптимальным решением прокладки подземных сетей является прокладка полиэтиленовых труб, также были рассмотрены виды сложностей инженерно-геологических условий, на которые необходимо обратить внимание вовремя составления проекта.*

*Ключевые слова: газопровод, инженерно-геологические условия, подрабатываемые территории, деформации грунта*

### **Введение**

При проведении комплексных инженерных изысканий используют методы исследований, определенных требованиями [1]. Исследования должны включать геологические, гидрогеологические, геодезические и другие методы прогнозирования опасных природных воздействий. Результаты оценки опасности геофизических воздействий должны быть включены в исходные данные для разработки проекта газоснабжения.

Магистральные трубопроводы представляют собой потенциально-опасные объекты для прилегающих к ним территорий. Опасность обусловлена, прежде всего, тем, что по ним транспортируются легко-воспламеняемые и токсичные вещества. А это значит, что в случае реализации любой нештатной ситуации может произойти их разрушение, результатом чего будет трансформация или уничтожение природных комплексов, а также повреждение инфраструктуры территории [2].

**Особенности проектирования газопроводов в сложных инженерно-геологических условиях.**

Перед началом составления проекта по газоснабжению необходимо провести геодезические и инженерно-геологические изыскания. Результатом геодезических изысканий является технический отчет с приложенным топографическим планом участка в масштабе 1:500 [3]. На плане наносятся все существующие здания и сооружения, подземные и наземные коммуникации, растительность, гидрография, дорожная сеть, рельеф местности и т.д.

Газопроводы, которые прокладываются в городах, населенных пунктах, поселках, в селах классифицируются по следующим показателям:

- по виду газа, который транспортируется;

- по давлению газа;
- по местоположению газопровода относительно отметки земли;
- по расположению в системе планирования населенного пункта;
- по назначению в системе газоснабжения;
- по принципу построения;
- по материалу труб;

К особым условиям относятся:

- пучинистые (кроме слабопучинистых);
- просадочные (кроме просадочных грунтов типа I просадочности);
- набухающие (кроме слабонабухающих);
- многолетнемерзлые грунты;
- скальные грунты;
- элювиальные грунты;
- площадки строительства сейсмичностью более 6 баллов;
- подрабатываемые территории, кроме группы IV, при наличии заключения маркшейдерской службы;
- закарстованные территории, кроме категории устойчивости VI (строительство сетей газораспределения и газопотребления на территориях категорий устойчивости I, II не допускается);
- другие природные и техногенные условия, при которых возможны негативные воздействия на газопровод (оползни, обвалы, селевые потоки, снежные лавины, переработка берегов озер, рек, водохранилищ и т.п.) [4].

Для городов с населением более 1 млн человек при сейсмичности района более 6 баллов, а также городов с населением более 100 тыс. человек при сейсмичности района более 7 баллов должно предусматриваться газоснабжение от двух или более источников - ГРС. При этом газопроводы высокого и среднего давления должны проектироваться закольцованными с разделением их на секции запорной арматурой.

Газопроводы на подрабатываемых территориях подвержены воздействию постоянных и временных нагрузок, возникающих под тяжестью поверхности и засыпки, давления транспортируемого газа и нагрузок, вызванных перемещениями грунта в результате горнодобывающей деятельности.

Дополнительные нагрузки вызваны изменениями температуры окружающей среды газопроводов. Эти нагрузки – основная причина возникновения напряжений в стенках труб.

Влияние отдельных нагрузок на тип и величину напряжений в трубах бывает разным.

В газопроводах высокого давления доминирующей является нагрузка, вызванная давлением транспортируемого газа. В газопроводах низкого и среднего давления более существенны напряжения, вызванные воздействием грунта.

Газовые сети на подрабатываемых территориях характеризуются разнообразием. Магистральные газопроводы, например, являются объектами линейного типа, тогда как распределительные газопроводы разветвлены. Глубина залегания газопроводов составляет от 0,8 метра и более. Грунты, в которые укладывают газопроводы, также бывают разными – от песков ( $17 \text{ кН/м}^3$ ) до глин ( $23 \text{ кН/м}^3$ ). Нагрузка поверхности на трубу может быть концентрированной (например, гружёный грузовик) либо распределённой равномерно.

Отдельный тип составляют для трубопроводных конструкций нагрузки, возникающие вследствие эксплуатации подземных месторождений. Именно они вызывают деформации земной поверхности. В случае постоянных деформаций чаще всего приходится иметь дело с оседанием, профиль которого иллюстрирует рисунок 1.

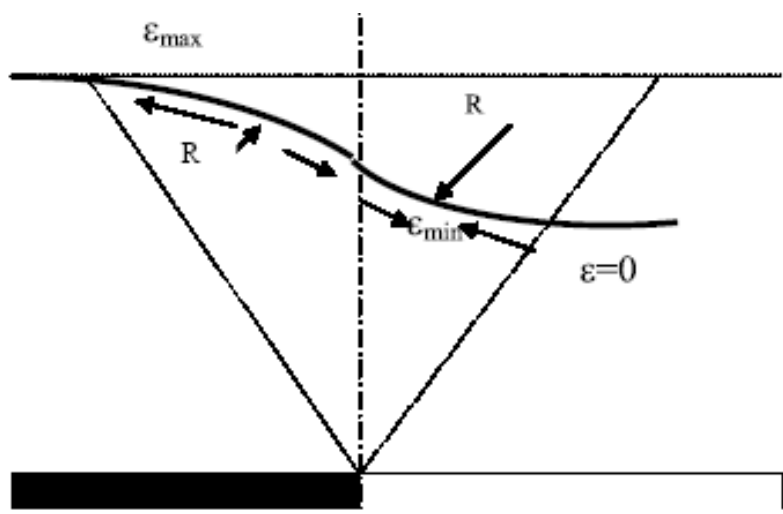


Рисунок 1 - Профиль оседания (деформации) грунта

Подрабатываемые территории с постоянными деформациями согласно классификации делятся на категории в зависимости от ожидаемых экстремальных деформаций.

Для газопроводов наиболее существенным параметром является горизонтальная деформация грунта. Влияние эксплуатации подземных месторождений на газопроводы проявляется, главным образом, в виде:

- деформации грунта (от 1,5 мм/м для I категории подрабатываемых территорий до 9 мм/м для IV категории). Более значительные деформации относятся к V категории, при которой строить газопроводы уже нельзя;
- рельефа (кривизны) территории (выпуклой либо вогнутой);
- непродолжительной деформации, которую трудно определить и локализовать;
- парасейсмических сотрясений.

Для газовых сетей из полиэтиленовых труб на подрабатываемых территориях существенную роль играет продолжительность воздействия нагрузок, связанная с геологическими эффектами, которые проявляются в виде двух классических процессов:

- ползучести материала (т.е. увеличения деформаций при постоянных напряжениях и постоянной температуре);
- релаксации напряжений (т.е. уменьшения напряжений в материале при постоянных деформациях и постоянной температуре).

Поскольку максимальная деформация поверхности грунта на подрабатываемых территориях IV категории не превышает 1% (9 мм/м), то при медленном деформировании полиэтиленовой (ПЭ) трубы подвергаются ему равномерно по всей своей длине, обеспечивая интегральность газовой сети.

В качестве примера стойкости ПЭ труб к внешним воздействиям можно привести данные, касающиеся последствий землетрясения 17 января 1995 г. возле города Кобэ в Японии. Оно причинило завалы и частичные повреждения около 191 тыс. домов. 850 000 потребителей остались без газа. Произошло 95 аварий газовых сетей среднего давления и около 10 000 – в сетях низкого давления. В то же время не было зафиксировано аварий на газопроводах из полиэтилена, которые были построены в начале 80-х годов. Эти газопроводы составляли около 5% общей протяжённости распределительных сетей в районе Кобэ.

Актуальный уровень знаний и практики в сфере строительства и эксплуатации трубопроводов позволяет надёжно обезопасить их от внешнего воздействия. Для стальных магистральных трубопроводов главными факторами, влияющими на достижение требуемой стойкости, являются выносливость материала труб и их надлежащая укладка в траншее. Для

распределительных газовых сетей особое значение имеет эластичность структуры труб. Наилучшее решение – использовать в строительстве газопроводов полиэтиленовые трубы высокой прочности [5-7].

В населенных пунктах следует предусматривать подземную прокладку распределительных газопроводов с соблюдением их кольцевания, для внутриквартальных - надземную на опорах и по дворовым фасадам зданий. Крепление газопроводов при надземной прокладке, должно позволять осевые и вертикальные перемещения труб. Конструкция опор для надземной прокладки должна проектироваться с учетом нагрузок от воздействия горных выработок.

На распределительных газопроводах низкого давления, прокладываемых по стенам зданий, должна обеспечиваться компенсация перемещений газопровода, вызываемых раскрытием деформационных швов здания.

Переходы газопроводов через реки, овраги и железные дороги в выемках следует предусматривать надземными.

В местах пересечения подземных газопроводов с другими подземными коммуникациями следует предусматривать уплотнительные устройства (глиняные экраны, футляры на газопроводе и др.).

На подземных газопроводах в пределах подрабатываемых территорий следует предусматривать установку контрольных трубок.

Контрольные трубки должны устанавливаться на углах поворотов, в местах разветвления сети, у компенсаторов бесколодезной установки.

В пределах населенных пунктов следует предусматривать установку контрольных трубок также на линейных участках газопроводов с расстоянием между ними не более 50 м.

Для предохранения от механических повреждений контрольные трубки в зависимости от местных условий должны быть выведены под ковер или другое защитное устройство.

Крепление электровыводов при установке КИП для замеров электропотенциала газопровода должно быть гибким и допускать перемещение грунта относительно трубы.

#### **Вывод.**

Поскольку газовая промышленность является одной из самых опасных – это означает что необходимо тщательно подходить к вопросу безопасности, правильному составлению проектов, а также тщательному производству работ при монтаже оборудования в данной сфере.

В результате изучения особенностей проектировки газопроводов в сложных инженерно-геологических условиях было установлено, что наиболее оптимальным решением прокладки подземных сетей является прокладка полиэтиленовых труб, были рассмотрены виды геологических условий, на которые необходимо обратить внимание при составлении проекта. Строительство газопровода и осуществление мероприятий по его инженерной защите не должны приводить к активизации опасных геологических процессов на трассе строительства и примыкающих территорий.

#### **Список литературы**

1. СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. – М. : Стандартинформ, 2018. – 32 с.
2. Мякота, В.Г. Некоторые методические подходы к оценке и классификации экологического риска на трассах магистральных трубопроводов / В.Г. Мякота // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : научные труды тринадцатой международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. – М. : МГСУ, Изд-во АСВ, 2010. – С. 301–304.

3. Капранова, Е. М. Организация инженерного изыскания для проектирования сетей газоснабжения / Е. М. Капранова, С. А. Игнатенко. // Вопросы экономики и управления. — 2016. — № 5 (7). — С. 43-46.
4. Власова, Л.В. Природные факторы при аварийности газопроводов / Л.В. Власова // Геоэкология. – 2009. – № 3. – С. 246–270.
5. Полиэтиленовые газовые сети : Материалы для проектирования и стр-ва / В.Ю. Каргин, В.Е. Бухин, Ю.Н. Вольнов; ГипроНИИГаз. - Саратов : Приволж. кн. изд-во, 2001. - 400 с.
6. СП 42-103-2003 Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. – М. : 2004 – 87 с.
7. Виноградов, Д.А.. Особенности сооружения полиэтиленовых трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях / Д.А. Виноградов // Нефтегазовое дело. Транспорт, хранение и распределение. - 2005. - №2(2005). – С. 59-65.

УДК 622.691

**Коваленко Семён Романович**,  
магистрант 2-го курса кафедры ТТГВ;  
**Казьмина Анастасия Владимировна**,  
магистрант 1-го курса кафедры ТТГВ;  
**Удовиченко Злата Викторовна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## ОБОСНОВАНИЕ РАСПОЛАГАЕМОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ СО ШКАФНЫМИ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫМИ ПУНКТАМИ

*Оптимальное распределение располагаемого перепада давлений между участками газовой сети является важным резервом снижения стоимости газопроводов низкого давления. Что, в свою очередь, обеспечивает снижение металлоёмкости газовых сетей до 10-15% при снижении их стоимости до 4-5%.*

*Гидравлические режимы эксплуатации распределительных газопроводов оказывают влияние на тепловую эффективность работы газоиспользующих установок. В этой связи, оптимизация давления газа перед газоиспользующими установками является важным резервом ресурсосбережения и повышения общей экономической эффективности систем газоснабжения.*

*Ключевые слова: газораспределение, располагаемое давление, оптимизация, газорегуляторные пункты (ГРП), гидравлический расчет*

**Введение.** При проектировании многоступенчатых систем газоснабжения возникает вопрос об экономически оптимальном радиусе действия газорегуляторных пунктов. С увеличением числа ГРП уменьшается стоимость сети низкого давления, но повышается стоимость самих ГРП, а также сети среднего или высокого давления, которая питает регуляторные пункты. Следовательно, существует оптимальное значение радиуса действия ГРП, при котором общие приведенные годовые затраты на систему будут минимальными.

В настоящее время в городах и других населенных пунктах наибольшее распространение получили двухступенчатые системы газоснабжения, хотя применяются и трехступенчатые и даже многоступенчатые системы. По газопроводам I ступени газ с более высоким давлением подается крупным потребителям (ТЭЦ, районные котельные, газорегуляторные пункты и т.д.). По газопроводам низкого давления (II ступень) газ подается в жилые дома и на коммунально-бытовые предприятия.

В зависимости от размера населенного пункта на сооружение распределительной газовой сети расходовалось до 80% всех капитальных вложений в систему газоснабжения. Из общей протяженности сетей до 70-80% составляли газопроводы низкого давления и только 20-30% - газопроводы высокого (среднего) давления [1].

Наличие протяженной сети газопроводов низкого давления в сочетании с большими диаметрами труб обуславливает повышенную материалоемкость газораспределительных систем, а, следовательно, высокую стоимость сооружения и эксплуатации систем газоснабжения.

Широкое применение недорогих шкафных газорегуляторных пунктов обуславливает тенденцию к качественному изменению структуры газораспределительной сети. Её характерной особенностью являются разветвлённые (кольцевые) сети среднего давления в

сочетании с короткими (тупиковыми) сетями низкого давления. Наличие в населенном пункте большого количества дешевых ШГРП резко уменьшает протяженность, материало- и капиталоемкость газовых сетей низкого давления. Указанное обстоятельство, несмотря на повышенную протяженность газовых сетей высокого (среднего) давления, обуславливает значительное снижение общих затрат в сооружение и эксплуатацию поселковых систем газоснабжения.

Эффективность проектных решений систем газоснабжения с шкафными газорегулирующими пунктами (ГРП) действительно зависит от правильного выбора расчетного перепада давлений в распределительных газопроводах с учетом системной связи элементов технологической цепочки. Этот аспект является критическим для обеспечения надлежащего функционирования системы газоснабжения и оптимального обеспечения потребителей газом.

Правильный выбор расчетного перепада давлений в распределительных газопроводах позволяет обеспечить необходимое давление газа на входе в потребителя, что важно для нормальной работы газоиспользующего оборудования. Кроме того, учет системной связи элементов технологической цепочки, таких как шкафные ГРП, распределительные газопроводы и потребители, позволяет создать эффективную и надежную систему газоснабжения.

Важно также учитывать факторы, влияющие на расчет перепада давлений, такие как длина газопровода, диаметр, количество потребителей, потребляемый объем газа и другие технические параметры. Правильный расчет перепада давлений поможет избежать проблем с поставкой газа и обеспечит стабильную работу системы.

Таким образом, правильный выбор расчетного перепада давлений и учет системной связи элементов технологической цепочки являются ключевыми моментами при проектировании систем газоснабжения с шкафными ГРП для обеспечения их эффективной работы [2-4].

Как известно, надежная, безопасная и экономичная работа газовых приборов обеспечивается при давлении газа, близком к номинальной величине.

При этом создаются наиболее благоприятные условия для сжигания газа. Горелки газовых приборов работают устойчиво, без отрыва и проскока пламени и обеспечивают необходимую полноту сгорания газа с максимальным КПД [5].

Гидравлические режимы эксплуатации распределительных сетей и газорегуляторных установок оказывают значительное влияние на работу газовых приборов. Рабочее давление газа перед прибором может отличаться от номинальной величины из-за особенностей гидравлического режима системы.

Газовые приборы, подключенные в начале трассы распределительного газопровода, близко к шкафному газорегуляторному пункту (ШГРП), обычно работают при повышенном давлении газа. Это связано с тем, что газорегуляторные установки обеспечивают снижение давления газа перед подачей его на потребителей. Поэтому приборы, расположенные ближе к ШГРП, получают газ под повышенным давлением.

С другой стороны, газовые приборы, подключенные в конце трассы распределительного газопровода, на значительном удалении от ШГРП, могут работать при пониженном давлении газа. Это происходит из-за потерь давления в распределительной сети на протяжении пути от ШГРП к конечному потребителю. Поэтому приборы, находящиеся в конце трассы, могут получать газ под пониженным давлением.

Таким образом, специфика работы газовых приборов определяется гидравлическими условиями в распределительных сетях и наличием газорегуляторных установок, которые обеспечивают необходимое давление газа перед подачей его на потребителей [6].

Максимально допустимый диапазон изменения давления в системе газоснабжения составляет

$$\Delta P_{max} = P_{max}^{приб} - P_{min}^{приб},$$

где  $P_{max}^{приб}$ ,  $P_{min}^{приб}$  - максимальное и минимальное допустимые давления газа перед прибором, Па.

Предельные колебания давления газа для бытовых приборов установлены соответствующими стандартами (Таблица 1) [7-10].

Таблица -1 Режимы давления газа для бытовых газовых приборов

Газовый прибор	$P_{max}^{приб}$	$P_{пот}^{приб}$	$P_{min}^{приб}$	Нормативный документ
Газовая плита	1800	1300	650	ГОСТ Р 50696-2006
	2500	2000	1700	
Проточный водонагреватель	1800	1300	650	ГОСТ Р 51847-2009 (ЕН 26:1997)
	2780	2000	1500	
Отопительный котел	1764	1274	635	ГОСТ 20219-1993
	2744	1960	980	
Газовая горелка для отопительной печи	1800	1300	600	ГОСТ 16569-86
	2800	2000	600	

В указанных диапазонах изменения давлений гарантируется надежная и безопасная эксплуатация газовых приборов, экономичное использование газа с КПД близким к максимальному значению, долговечность приборов.

Располагаемый перепад давлений в газовой сети изменяется более чем в пять раз, в зависимости от номинального давления газа перед приборами и режимов давления газорегуляторной установки. Следует отметить также, что располагаемый перепад давлений для газовых сетей даже при оборудовании последних бытовыми приборами с пониженным номинальным давлением значительно ниже рекомендуемого нормативным документом ( $\Delta P_{раб} \leq 1800$  Па).

В этой связи существующая практика проектирования систем газоснабжения из условия  $\Delta P_{раб} = 1800$  Па приводит к нарушению требований ГОСТа, в частности, минимального давления газа перед приборами. Как следствие, заметно снижается КПД газоиспользующих установок, увеличивается время приготовления пищи и горячей воды, а также вероятность нарушения устойчивости горения газа (проскок пламени).

**Вывод.** Гидравлический расчет газопроводов из условия полного использования располагаемого перепада давлений обуславливает минимум затрат в сооружение и эксплуатацию газовой сети. Вместе с тем, наличие указанного перепада давлений в распределительных газопроводах обуславливает пониженное давление газа перед газоиспользующими установками. Как следствие, снижается КПД газовых аппаратов, повышаются расход и стоимость потребляемого топлива. В этой связи обоснование



оптимального перепада давлений в распределительных газопроводах требует проведения технико-экономических исследований.

### Список литературы

1. Солодков, С. А. Оптимизация схем газораспределительных систем / С. А. Солодков, С. А. Корнев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 24 (104). — С. 216-218.
2. Медведева, О.Н. Оптимальное распределение расчетного перепада давлений между участками газовой сети / О.Н. Медведева, С.Г. Евдокимов // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: Сб. научн. трудов. - Саратов: изд-во СГТУ. - 2006. - С. 45-51.
3. Медведева, О.Н. Техничко-экономическая оптимизация перепадов давления тупиковых газовых сетей / О.Н. Медведева, Н.В. Федорова // II Всероссийская научно-практическая конференция «Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья». - Тольятти: ТольятГУ. - 2009. - С. 326-329.
4. Торчинский, Я.М. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем / Я. М. Торчинский. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград : Недра : Ленингр. отд-ние, 1988. - 238 с.
5. Курицын, Б.Н. Повышение эффективности использования газового топлива / Б.Н. Курицын, О.Н. Медведева, А.А. Иванов // «Известия Самарского научного центра Российской академии наук»- Самара: Самарский научный центр Российской академии наук. - 2009. – Том 11 (27) - №5 (2). - С. 284-286.
6. Курицын, Б.Н. Оптимизация режимов давления газа в системах газоснабжения со шкафными газорегуляторными пунктами / Б.Н. Курицын, А.А. Иванов // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: Сб. научн. трудов. - Саратов: изд-во СГТУ. - 2009. - С. 59-63.
7. ГОСТ Р 51847-2009 (ЕН 26:1997). Водонагреватели газовые мгновенного действия с атмосферными горелками для производства горячей воды коммунально-бытового назначения. Общие технические требования. — М.: Стандартиформ. - 2011.-113 с.
8. ГОСТ 20219-1993. Аппараты отопительные газовые бытовые с водяным контуром. Общие технические условия. - М.: Стандартиформ. — 2020. — 19 с.
9. ГОСТ Р 50696-2006. Национальный стандарт Российской Федерации. Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования и методы испытания - М.: Стандартиформ. - 2006. – 106 с.
10. ГОСТ 16569-86. Устройства газогорелочные для отопительных бытовых печей. Технические условия. - М.: Издательство стандартов. - 1986. – 17 с.

УДК 697.347

**Долгов Николай Викторович,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;  
**Кекиш Сергей Евгеньевич,**  
магистрант гр. ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ;  
**Проничева Юлия Александровна,**  
магистрант гр. ЗТГВм-5б кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ**

*На сегодняшний день вопрос диспетчеризации и контроля потребления энергоресурсов является очень актуальным, это связано с тем, что в век развития информационных технологий, становятся все более доступными такие технические решения, которые несколько десятилетий назад казались трудно достижимыми или очень финансово затратными.*

*Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, диспетчеризация, отопление, вентиляция, тепловые пункты*

К таким технологиям также относится диспетчеризация коммерческого учета потребления энергетических ресурсов.

Это связано прежде всего с тем, что появилось множество готовых технических решений, позволяющее внедрять подобные системы в различные сферы производственной, коммунально-бытовой деятельности человека, такие как:

- стационарные измерительные приборы с встроенными микропроцессорными блоками, что позволяет обеспечить преобразование аналогового сигнала в цифровой непосредственно в самом измерительном приборе;
- не дорогие микропроцессорные контроллеры;
- развитие Ethernet технологий;
- развитие LAN технологий;
- развитие беспроводной передачи данных в сетях 3G, LTE;
- развитие микропроцессорных систем;
- развитие программных комплексов, в виде доступных приложений с облачным хранением данных.

В современных условиях роста требований к энергосбережению непрерывно повышать эффективность процессов. Одним из важнейших путей к этому является снижение затрат на энергоносители, доля которых в зависимости от сферы деятельности может составлять до 50%. Кроме того, для устойчивой работы организации крайне важным фактором является надежность и бесперебойность энергоснабжения [1,2].

В связи с этим, при внедрении системы энергоменеджмента должны быть поставлены и решены следующие задачи:

- организация контроля и учета расхода энергоресурсов;
- организация эффективного управления затратами на энергоресурсы;
- обеспечение непрерывности энергоснабжения;
- предотвращение аварийных ситуаций; - контроль ресурса энергетического оборудования.

Для своего решения эти задачи требуют наличия современных технических средств, основными из которых являются:

- автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ);
- автоматизированные системы учета тепловой энергии и расхода энергоносителей (АСКУЭн);
- автоматизированные системы оперативного диспетчерского управления (АСОДУ).

Установка таких систем должна быть одной из первоочередных задач подразделений организации, ответственных за энергоснабжение.

Отечественная АСОДУЭ строится на базе оборудования и ПО комплекса, широко внедряемого на предприятиях электроэнергетики и промышленных предприятиях России. Основными потребителями продукции являются крупные предприятия электроэнергетики [3,4].

Функционально АСОДУЭ состоит из подсистем диспетчеризации, технического учета, коммерческого учета энергоресурсов и видеонаблюдения.

Иерархически АСОДУЭ может быть двухуровневой (объект - диспетчерский пункт) или многоуровневой, с различным количеством промежуточных пунктов управления и ретрансляции.

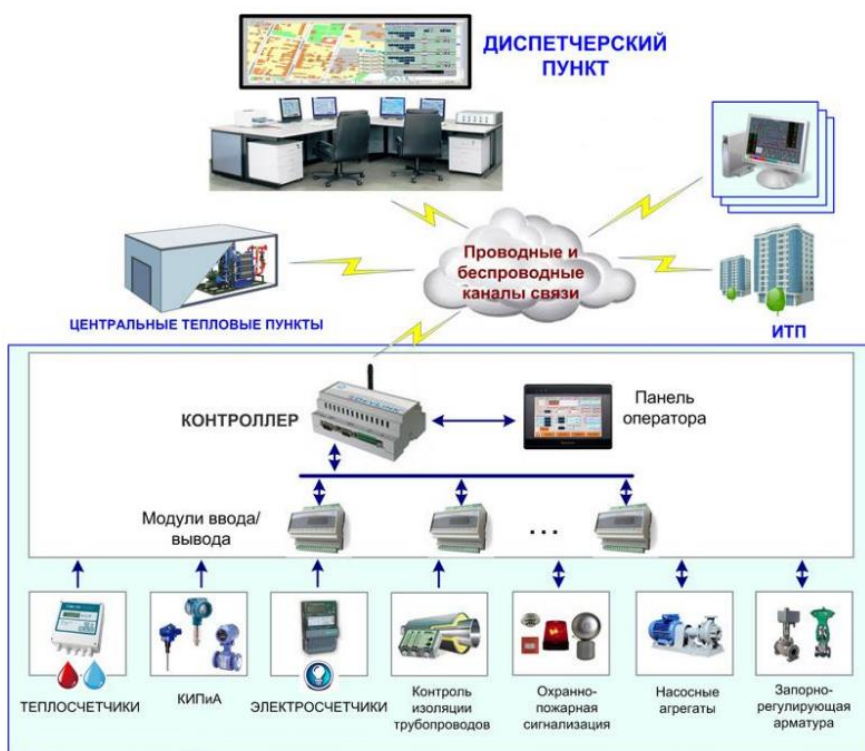


Рисунок 1 - Структура диспетчеризации системы энергопотребления

АСОДУЭ обеспечивает:

- 1) сбор данных о состоянии энергохозяйства, в т.ч.: состояние схемы энергоснабжения (положение коммутационного оборудования), характеристики процессов (токи, напряжения, мощности, температура, давление и т.д.), данные о потреблении энергоресурсов, данные об аварийных процессах, видеoinформация о состоянии объекта.

2) обработку данных, в т.ч.: контроль достоверности, масштабирование, получение расчетных значений, включая расчет потребления энергоресурсов, маршрутизация, расчет ресурса работы оборудования.

3) отображение данных: на локальных АРМ внутри объекта, на специализированных сетевых АРМ в диспетчерском пункте, на средствах коллективного пользования (щиты, видеостены), на удаленных рабочих местах - через Интернет [5].

4) ретрансляцию данных: в ЛВС предприятия для предоставления всем заинтересованным службам, в центральный офис предприятия (из филиала или если он удален от производства), в энергоснабжающие организации (при наличии с их стороны таких требований).

5) хранение данных в SQL базах.

6) управление энергообъектами: телеуправление коммутационным и вентильным оборудованием, автоматическое телеуправление по сценариям, телерегулирование.

В составе системы могут быть использованы различные источники первичной информации о состоянии объектов энергохозяйства:

- дискретные контактные и бесконтактные датчики («сухой контакт», электронное реле и пр.),

- аналоговые датчики и измерительные преобразователи с нормированным значением выходного сигнала 4...20, 0...5 и -5...+5 мА, счетчики и расходомеры с импульсным выходом, датчики, измерительные преобразователи, счетчики и расходомеры с цифровым интерфейсом RS-485 или RS-232.

Устройства сбора и передачи данных. Устройства контролируемых пунктов (КП) являются универсальными многофункциональными программируемыми интеллектуальными устройствами, обеспечивающими сбор данных с датчиков и измерительных преобразователей различных типов, и трансляцию команд управления. Устройства сбора и передачи данных технического и коммерческого учета энергоресурсов представляют собой модифицированные устройства КП, оснащенные программным обеспечением учета и имеющие защиту от несанкционированного доступа к данным. Особенности этих устройств являются сбор данных с приборов учёта различных типов, импульсный и цифровой интерфейсы, хранение данных до 45 суток без внешнего питания, работа по нескольким независимым направлениям обмена данными (до 8), программирование на объекте и возможность подключения локального АРМ.

Технологическая локальная вычислительная сеть является отдельным сегментом сети, предназначенным только для работы АСОДУЭ. Этот сегмент должен быть отделен от ЛВС предприятия путём выделения в отдельный vlan (топологическая локальная компьютерная сеть). Внутри технологической ЛВС находятся серверы сбора и обработки данных, серверы баз данных и автоматизированные рабочие места оперативного и технического персонала.

### **Список литературы**

1. Шнайдер Д. А. Диспетчерское управление и коммерческий учет энергоресурсов в ЖКХ на базе программно-технического комплекса «ПолиТЭР» [Текст] / Д. А. Шнайдер, В. В. Абдуллин, А. А. Басалаев // Коммерческий учет энергоносителей: Материалы XXXIV международной научно-практической Конференции. – СПб., 2014. – С. 90–100.

2. Туркин В. П. Автоматическое управление отоплением жилых зданий [Текст] : Опыт строительства и эксплуатации жил. фонда в Челябинске / В. П. Туркин. – М. : Стройиздат 1987. – 189 с.

3. Технология открытых систем [Текст] / В. К. Батоврин В. В. Васютович Ю. В. Гуляев, А. Б. Петров; под ред. А. Я. Олейникова. – М. : Януск 2004. – 288 с.

4. Табунщиков Ю. А. Интеллектуальные здания [Электронный ресурс] / Ю. А. Табунщиков // АВОК. – 2001. – №3. – Режим доступа: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.phpnid=125](http://www.abok.ru/for_spec/articles.phpnid=125), свободный. – Загл. с экрана.

5. Сикерин И. Е. Влияние гидравлического режима сети теплоснабжения на тепловую устойчивость абонентов [Текст] / И. Е. Сикерин С. А. Голяк // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2010. – № 2. – С. 20–22.

УДК 681.526

**Долгов Николай Викторович,**

кандидат технических наук,

доцент кафедры ТТГВ;

**Захарова Ольга Олеговна,**

магистрант гр. ЗТГВм-53а кафедры ТТГВ;

**Соколов Сергей Владимирович,**

магистрант гр. ЗТГВм-53а кафедры ТТГВ,

**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

*Системы теплоснабжения являются крупнейшим потребителем топливно-энергетических ресурсов в стране. От нормального функционирования этих систем зависят условия теплового комфорта в отапливаемых зданиях, самочувствие людей, производительность труда и другие факторы. Выпуск качественной продукции на ряде промышленных предприятия требует строгого соблюдения нормируемых параметров микроклимата. Эффективность предприятий агропромышленного комплекса (урожайность плодов и овощей, выращиваемых в теплицах, продуктивность животноводства) также в большой степени определяется температурно-влажностными режимами в сельскохозяйственных помещениях, обеспечиваемыми работой систем теплоснабжения. Таким образом, проблема повышения качества, надежности, экономичности теплоснабжения имеет государственное значение.*

*Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, автоматизация, отопление, вентиляция, тепловые пункты*

Система управления на базе сенсорных сетей включает в себя множество различных датчиков, устанавливаемых на объектах управления. Эти датчики передают данные на концентраторы посредством проводных или беспроводных технологий. Далее данные с концентраторов через локальные или глобальные вычислительные сети, обладающих большей пропускной способностью, передаются на сервер сбора и обработки данных, где происходит их агрегация и анализ. После обработки этих данных, сервер может передавать информацию автоматизированным рабочим местам (АРМ) пользователей и передавать управляющим устройствам коррекции настроек, полученные либо от пользователей (автоматизированный режим управления), либо в результате работы внутренних алгоритмов управления (автоматический режим управления). Передача корректирующих воздействий может быть осуществлена как на общие для нескольких объектов управляющие устройства (групповые управляющие устройства), так и на индивидуальные управляющие устройства. Передача данных управляющим устройствам может осуществляться с использованием аналогичных технологий и каналов передачи данных. Таким образом, сети передачи данных могут использоваться не только для индивидуального контроля, но и для индивидуального управления и включать в себя не только датчики, но и управляющие устройства, если в используемых сетях передачи данных реализован двусторонний канал обмена информацией. Структура систем управления теплоснабжением зданий на базе сенсорных сетей представлена на рисунке 1.

Основным преимуществом сенсорных сетей является получение всесторонней информации о функционировании отдельных элементов объектов управления

теплоснабжением. Это позволяет более подробно изучить объект теплоснабжения, учесть индивидуальные характеристики его отдельных элементов и действующие на них возмущающие воздействия, а также идентифицировать внутренние взаимосвязи между элементами объекта. Благодаря информации о температуре большого числа помещений здания, становится возможным получение более адекватной оценки текущего состояния как отдельных помещений, так и здания в целом [1,6]. Однако получив большой объем данных по различным помещениям здания, появляется проблема их оптимального использования в управлении, особенно когда управление теплоснабжением осуществляется для всего здания в целом. Таким образом, основной задачей в системах теплоснабжения на базе сенсорных сетей становится учет потребностей большого числа разнородных потребителей.

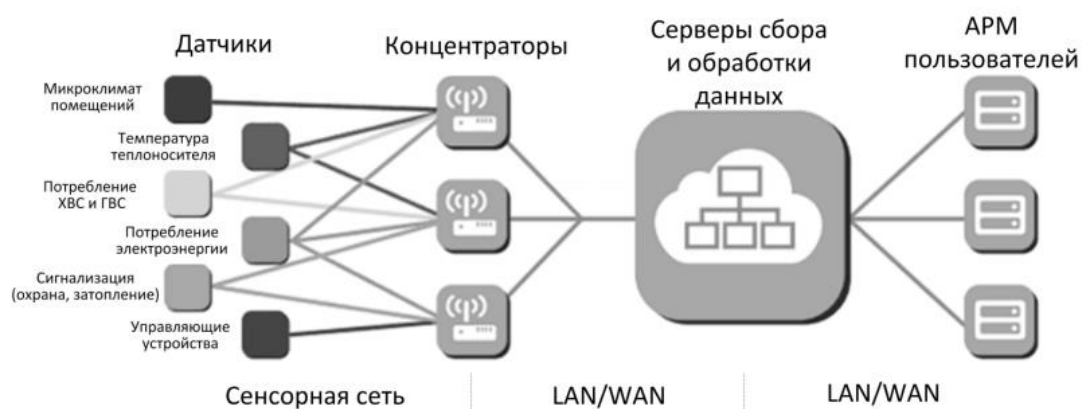


Рисунок 1 - Структура систем управления теплоснабжением зданий на базе сенсорных сетей

Таким образом, при совмещении в одной системе теплоснабжения большого количества разнообразных потребителей значительно усложняется и контроль, и управление теплопотреблением во всей системе, поскольку в такой системе в различные моменты времени будут присутствовать потребители, которые находятся в различных условиях, функционируют в различных режимах и требуют поддержания различных температурных условий.

В крупных системах теплоснабжения также могут присутствовать различные источники тепловой энергии. Они могут различаться как по мощности и эффективности, так и по принципам генерации [2,3]. Для теплогенерирующих установок выделяют следующие принципы генерации:

1) моногенерация – выработка тепловой энергии посредством сжигания определенного вида топлива (угля, мазута, природного газа и др.). Управление генерацией тепловой энергии в этих установках в основном ориентировано на удовлетворение спроса потребителей на тепловую энергию;

2) когенерация – комбинированная выработка электрической и тепловой энергии, в которой основным вырабатываемым видом энергии является электрическая, а вырабатываемая тепловая энергия является утилизируемой – получаемой от выхлопных газов и охлаждения генерирующих установок. Поэтому выработка тепловой энергии в таких установках зависит от количества выработанной электрической энергии, и для повышения эффективности всей системы тепловая энергия должна использоваться максимально полно.

Основной целью теплоснабжения является поддержание комфортных условий труда и проживания человека в помещениях зданий, строений и сооружений. В связи с этим для оценки качества теплоснабжения используются соответствующие показатели микроклимата помещений (температура воздуха), для которых в нормативно-технической документации установлены соответствующие нормативные величины [4,5]. При этом на каждое отдельное помещение могут воздействовать множество различных факторов различного характера, влияющих на соблюдение этих норм.

С точки зрения управления интерес представляют беспроводные приводы для регулирующих клапанов, устанавливаемые на стояках или отдельных отопительных приборах, но ввиду их значительного потребления энергии по сравнению с измерительными датчиками, их целесообразно подключать к электрической сети. Тем не менее, использование беспроводных приводов упрощает их монтаж за счёт отсутствия линий связи с устройством сбора и передачи данных.

Таким образом, основной задачей систем регулирования отопления зданий на базе сенсорных сетей становится оперативная балансировка контуров управления группами потребителей с целью равномерного распределения тепловой энергии между отдельными помещениями для поддержания требуемых температурных условий в нормативных диапазонах.

### **Список литературы**

1. Абдуллин, В. В. Подход к оперативному анализу эффективности теплоснабжения зданий [Текст] / В. В. Абдуллин, Д. А. Шнайдер, А. А. Басалаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» – 2011. – Вып. 13. – №2 (219). – С. 70–73.
2. Автоматическое регулирование систем отопления с применением регулятора Т-48 [Текст] / М. М. Грудзинский, В. И. Ливчак, В. И. Медведь, А. А. Чугункин, Л. Ф. Куклик, Н. И. Коровин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1980. – № 1. – С. 23–26.
3. Басалаев, А. А. Метод оптимизации температуры подаваемого теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения зданий на основе имитационного моделирования [Текст] / А. А. Басалаев, Д. А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» – 2017. – Т. 17. – № 1. – С. 15–22.
4. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей [Текст] / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М. : Наука, 1985. – 279 с.
5. Санитарно-эпидемиологические требования к размещению, устройству, оборудованию, содержанию, санитарно-гигиеническому и противоэпидемическому режиму работы организаций социального обслуживания [Текст] : СП 2.1.2.3358–16 : утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 27.05.16 : ввод. в действие с 04.09.16. – М. : Межфедеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017. – 23 с
6. Kintner-Meyer, M. Opportunities of wireless sensors and controls for building operation [Текст] / M. Kintner-Meyer, R. Conant // Energy Engineering Journal. – 2009. – № 102 (5). – P. 27–48



УДК 697

**Черникова Ирина Демьяновна,**  
старший преподаватель кафедры  
вентиляции, теплогазо- и водоснабжения,  
**ИСА и ЖКХ ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»;**  
**Салуквадзе Георгий Владимирович,**  
аспирант кафедры  
вентиляции, теплогазо- и водоснабжения,  
**ИСА и ЖКХ ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»;**  
**Соколов Владимир Ильич,**  
доктор технических наук, профессор кафедры  
вентиляции, теплогазо- и водоснабжения,  
**ИСА и ЖКХ ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРИСОЕДИНЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА К ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

*Работа посвящена вопросу повышения производительности вентиляционных систем совершенствованием конструктивных элементов соединения воздухопроводов с выходными патрубками радиальных вентиляторов. Проведено численное моделирование турбулентных течений в конструктивных элементах с использованием стандартной k-ε модели турбулентности в модуле Flow Simulation программного комплекса SOLIDWORKS, на основании чего обоснована необходимость установки в диффузоре составной выравнивающей пластины с разными углами наклона ее частей и погружением передней по потоку части в зону выходного патрубка вентилятора.*

*Ключевые слова: вентиляционная система, радиальный вентилятор, турбулентное течение, численное моделирование, турбулентная вязкость, граничные условия.*

Повышение эффективности вентиляционных систем, снижение их эксплуатационных затрат требует установки элементов присоединения радиального вентилятора к вентиляционной системе, конструкции которых обеспечивали бы оптимальные аэродинамические характеристики вентиляторных установок [1, 2]. Радиальные вентиляторы присоединяются к системе воздухопроводов через диффузоры, отводы, гибкие вставки, а также участки воздухопроводов. Расположение таких элементов сразу после нагнетательного патрубка требует дополнительного изучения, поскольку на выходе из него воздушный поток характеризуется неравномерным полем скорости, наклоном потока, значительной турбулентностью и крупномасштабными завихрениями [3, 4]. Поэтому для эффективной работы вентиляционной системы необходимо определить оптимальные геометрические параметры самих конструктивных элементов и их размещения, обеспечивающих минимальные потери. В этой связи актуальной является задача улучшения эксплуатационных характеристик вентиляционных систем путем совершенствования их конструктивных элементов. Совершенствование элементов, связывающих выходной патрубок центробежного вентилятора с нагнетательным воздухопроводом, позволит снизить аэродинамическое сопротивление системы, уменьшить потери давления и, как следствие, повысить производительность вентиляторной установки.

**Целью работы** является численное моделирование турбулентных течений в конструктивных элементах присоединения радиального вентилятора к вентиляционной системе для получения рекомендаций по их совершенствованию.

Численное моделирование турбулентных течений было проведено в модуле Flow Simulation программного комплекса SOLIDWORKS. При описании турбулентного течения применялась стандартная  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности, в основу которой положен анализ изменения кинетической энергии  $k$  турбулентности и скорости ее диссипации  $\varepsilon$ . Для расчета дополнительных турбулентных напряжений использовалась концепция турбулентной вязкости с определением кинематического коэффициента турбулентной вязкости  $\nu_t$  по «связке» Прандтля- Колмогорова. Анализ современных исследований по моделированию турбулентных течений в системах вентиляции показывает, что с точки зрения приемлемой трудоемкости вычислительных процедур, а также достаточной для инженерных расчетов точности, стандартная  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности является предпочтительной.

Система уравнений Рейнольдса турбулентного движения вязкой несжимаемой среды и уравнения неразрывности в декартовой системе координат имеет вид

$$g_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial z^2} \right) =$$

$$= \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial z} + \frac{\partial (\overline{u'_x u'_x})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{u'_x u'_y})}{\partial y} + \frac{\partial (\overline{u'_x u'_z})}{\partial z}; \quad (1)$$

$$g_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 \bar{u}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_y}{\partial z^2} \right) =$$

$$= \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial z} + \frac{\partial (\overline{u'_y u'_x})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{u'_y u'_y})}{\partial y} + \frac{\partial (\overline{u'_y u'_z})}{\partial z}; \quad (2)$$

$$g_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 \bar{u}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_z}{\partial z^2} \right) =$$

$$= \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial z} + \frac{\partial (\overline{u'_z u'_x})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{u'_z u'_y})}{\partial y} + \frac{\partial (\overline{u'_z u'_z})}{\partial z}. \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial z} = 0; \quad (4)$$

где  $g_x, g_y, g_z$  – проекции ускорения массовых на оси координат  $x, y, z$ ;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости среды;  $\rho$  – плотность воздушного потока;  $\bar{p}, \bar{u}_x, \bar{u}_y, \bar{u}_z$  – усредненные значения давления и проекций скорости;  $u'_x, u'_y, u'_z$  – пульсационные составляющие проекций скорости.

В уравнениях Рейнольдса члены вида

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (\rho \overline{u'_x u'_x}), \quad (5)$$

выражают действие напряжений, присущих только турбулентному потоку. Эти напряжения, порожденные пульсациями скорости, называются турбулентными или кажущимися, подчеркивая последним термином, что их появление в уравнениях движения есть результат формального перехода от мгновенных скоростей к усредненным. Тем не менее, если сравнить усредненный турбулентный поток с ламинарным, эти напряжения дают отнюдь не «кажущийся» эффект, состоящий, в частности, в значительном увеличении сопротивлений и соответствующем изменении профиля скорости.

Турбулентные напряжения определяются формулой

$$\tau_t = -\rho \overline{u'_i u'_j} \quad (6)$$

и обладают свойством взаимности  $\tau_{ij} = \tau_{ji}$ .

Связь кинетической энергии турбулентного пульсационного движения с проекциями пульсаций скорости

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}), \quad (7)$$

скорости ее диссипации

$$\varepsilon = \nu \left( 2 \overline{\left( \frac{\partial u'_x}{\partial x} \right)^2} + 2 \overline{\left( \frac{\partial u'_y}{\partial y} \right)^2} + 2 \overline{\left( \frac{\partial u'_z}{\partial z} \right)^2} + \overline{\left( \frac{\partial u'_x}{\partial y} \right)^2} + \overline{\left( \frac{\partial u'_y}{\partial x} \right)^2} + \overline{\left( \frac{\partial u'_x}{\partial z} \right)^2} + \overline{\left( \frac{\partial u'_z}{\partial x} \right)^2} + \overline{\left( \frac{\partial u'_y}{\partial z} \right)^2} + \overline{\left( \frac{\partial u'_z}{\partial y} \right)^2} \right). \quad (8)$$

Отметим, что  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности и ее модификации используют гипотезу Буссинеска, согласно которой турбулентные напряжения рассчитываются на основании концепции турбулентной вязкости с учетом градиентов осредненных проекций скорости. Для краткости записи используем тензорные обозначения, а индекс турбулентности « $t$ » для напряжений  $\tau_{ij}$  показываем вверх обозначения

$$\tau'_{ij} = \rho \nu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho \delta_{ij} k, \quad (9)$$

где символы Кронекера

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j; \\ 0, & i \neq j. \end{cases} \quad (10)$$

Кинематический коэффициент турбулентной вязкости устанавливается по «связке» Прандтля-Колмогорова:

$$\nu_t = C_\nu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (11)$$

где  $C_\nu$  - эмпирическая константа.

Кинетическая энергия турбулентного пульсационного движения  $k$  и скорость ее диссипации  $\varepsilon$  связываются между собой системой из двух дифференциальных уравнений. В данных уравнениях также рассматривается скорость генерации турбулентности

$$\begin{aligned}
 G = & \tau'_{xx} \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \tau'_{yy} \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial y} + \tau'_{zz} \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial z} + \\
 & + \tau'_{xy} \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial y} + \tau'_{yx} \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial x} + \tau'_{xz} \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial z} + \\
 & + \tau'_{zx} \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial x} + \tau'_{yz} \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial z} + \tau'_{zy} \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial y} .
 \end{aligned} \quad (12)$$

По стандартной  $k$ - $\varepsilon$  модели уравнения, связывающие кинетическую энергию турбулентности и скорость ее диссипации, имеют вид

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_x k)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_y k)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_z k)}{\partial z} = G - \rho \varepsilon + \\
 + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho(v+v_t)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho(v+v_t)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho(v+v_t)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right);
 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_x \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_y \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_z \varepsilon)}{\partial z} = C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C_3 \frac{G^2}{\rho k} + \\
 + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho(v+v_t)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho(v+v_t)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho(v+v_t)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right);
 \end{aligned} \quad (14)$$

где типовые значения эмпирических констант  $C_v=0,09$ ;  $\sigma_k=1,0$ ;  $\sigma_\varepsilon=1,3$ ;  $C_1=1,44$ ;  $C_2=1,92$ ;  $C_3=0$  (в модифицированной модели  $C_3=0,25$ ).

Дискретизация уравнений математической модели осуществлялась методом конечных элементов. Расчет начинался с заданного в качестве выходных данных начального приближения. На каждой глобальной итерации вычислялись поля скоростей и давлений, получаемые после окончания времени, принятого в качестве шага интегрирования. Стационарное течение достигалось после достаточно большого количества глобальных итераций (порядка 100 и более), соответствующих условному промежутку времени. Такой подход позволял задавать тривиальные начальные условия для переменных интегрирования. Начальными условиями при этом понималось задание в начальный момент времени поля скоростей и давлений в произвольной точке вентиляционной системы. Начальные избыточные статические давления и поле скоростей принимались равными нулю, кроме входного сечения.

В первом приближении значения избыточного статического давления на входе задавались равными  $300 \text{ Па}$ . В расчетах полагалось атмосферное давление при нормальных условиях  $P_{атм} = 101325 \text{ Па}$ ; температура при нормальных условиях  $T_0 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$ ; плотность воздуха  $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент кинематической вязкости  $\nu = 15,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Граничные условия для поля скоростей задавались исходя из рекомендаций ряда авторов по пространственному распределению относительных скоростей  $V/V_k$  ( $V_k$  – скорость рабочего

колеса) в выходном сечении радиального вентилятора). Значения проекций скорости на оси координат рассчитывались исходя из угла наклона лопаток рабочего колеса.

На рис. 1, 2 представлены типовые двумерные графики с векторами скоростей (длина стрелок показывает величину скорости) и изолиниями, которые показывают линии и области одинаковых диапазонов результирующих скоростей (каждая область закрашена в разный цвет). Моделирование турбулентного течения показывает, что в конструктивных элементах, непосредственно размещенных после радиального вентилятора, воздушный поток характеризуется существенной неравномерностью, поле скоростей является неравномерным и несимметричным. Формирование неравномерного и несимметричного поля скоростей на входе и выходе диффузора обуславливает увеличение потерь давления. Анализ распределения скоростей в различных сечениях диффузоров позволяет сделать вывод, что для совершенствования аэродинамических характеристик вентиляторных установок, в первую очередь, необходимо уделить внимание правильному проектированию элементов, связывающих выходной патрубок вентилятора и воздуховод.

Численное моделирование турбулентного течения в конструктивных элементах присоединения радиального вентилятора к нагнетательному каналу показало, что для выравнивания потока целесообразным является установка в диффузоре составной выравнивающей пластины с разными углами наклона ее частей и погружением передней по потоку части в зону выходного патрубка вентилятора. И в большей степени данную рекомендацию следует применить, когда в силу монтажных требований в качестве конструктивного элемента соединения воздуховода с выходным патрубком вентилятора используется несимметричный диффузор.

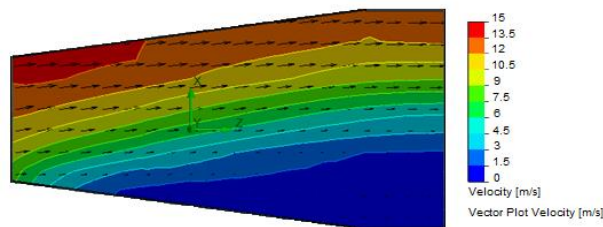


Рисунок 1 – Распределение скоростей, изолиний и векторов скоростей в диффузоре с неравномерным полем скоростей в начальном сечении

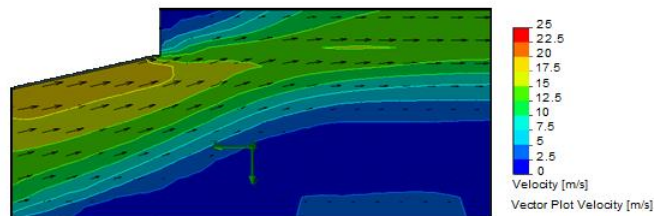


Рисунок 2 – Распределение скоростей, изолиний и векторов скоростей в несимметричном ступенчатом диффузоре с неравномерным полем скоростей в начальном сечении

Проведение численного моделирование не ставило целью количественную оценку аэродинамических характеристик конструктивных элементов вентиляционной системы, поскольку не представляется возможным достоверно оценить точность расчета параметров турбулентного воздушного потока. Это вполне объяснимо сложностью проведения

экспериментальных исследований для подтверждения адекватности математической модели. Вместе с тем, качественная оценка структуры потока позволяет сформировать направления дальнейших исследований по совершенствованию конструктивных элементов для улучшения эксплуатационных характеристик вентиляционных систем с количественной оценкой параметров на лабораторных стендах.

### **Список литературы**

1. Черникова, И.Д. Совершенствование конструктивных элементов вентиляционных систем для улучшения аэродинамических характеристик вентиляторных установок / И.Д. Черникова, Г.В. Салуквалзе, В.И. Соколов // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2023. – № 12(78). – С. 98-104.
2. Черникова, И.Д. Повышение производительности радиального вентилятора совершенствованием конструктивных элементов вентиляционной системы / И.Д. Черникова, Г.В. Салуквалзе, В.И. Соколов // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки материалов давлением в машиностроении: Сб. науч. тр. – Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2023. – № 3(44). – С. 65-76.
3. Черникова, И.Д. Повышение производительности вентиляционных систем с центробежными вентиляторами / И.Д. Черникова, В.Н. Андрийчук, В.И. Соколов, Н.Д. Андрийчук // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского, 2023. – № S1. – С. 321-327.
4. Черникова, И.Д. Совершенствование конструктивных элементов вентиляционных систем для улучшения аэродинамических характеристик вентиляторных установок / И.Д. Черникова, Г.В. Салуквалзе, В.И. Соколов // Актуальные проблемы строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства: материалы научно-практической конференции с международным участием 14 декабря 2023 г., г. Луганск. – Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2023. – С. 109-110.

УДК 628.168

**Балинченко Оксана Иосифовна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ВВ и ОВР,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ФИЛЬТРОВАНИЕ НА ВОЛОКНИСТЫХ ФИЛЬТРАХ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКА НА ЮГЕ ДНР

*Аннотация. В данной работе приведена усовершенствованная технология удаления избыточного железа из подземных артезианских вод. Такие воды до сих пор в питьевом водоснабжении используются в небольших количествах. Потому что на Юге Донбасса уже многие годы наблюдается жесточайший дефицит водных ресурсов. А после последних событий – он может усилиться в разы. К сожалению, пока нет возможностей получать воду из традиционных поверхностных ресурсов, присоединиться к дальним резервам. Поэтому нужно задействовать все возможности, за счет оптимальных технологий, свежих идей и реноваций всего, что еще работоспособно. Очередная реновация на почве аэрации и фильтрования – представлена в этой статье.*

*Ключевые слова: нетрадиционные водные ресурсы, волокнистые фильтры, подземные воды.*

Данная работа посвящается попытке нахождения успешного водоснабжения населения Юга Донецкого региона. При этом возможно значительное увеличение подачи воды и количественно, и качественно [1,8]. Для решения этой задачи давно уже предлагаются источники, которые ранее считались малоподходящими, нетрадиционными, прежде всего, с точки зрения дороговизны очистки, либо недоступные точки зрения добычи или экологии. Но, благодаря развитию технологий, например, перспективно обезжелезивание подземных артезианских вод. Этим вод значительное количество на Юге Донецкого региона, правда, они в различной степени загрязнены минеральным железом.

На данный момент решение задачи успешной технологией водоочистки может быть удаление избыточного железа из подземной артезианской воды до необходимого минимума, то есть питьевого качества, на волокнистых фильтрах для нужд одного из поселков Донецкого региона. Речь идет об установках малой, возможно, переменной, производительности.

Технология волокнистого фильтрования разработана акад. Н.И. Куликовым [2] и используется около 50 лет в водоотведении. В водоснабжении исследования носят характер эксперимента и относительно очистки технических вод. Изучив механизм фильтрования, ученые пришли к выводу, что успешность окислительных процессов на них объясняется не валовым количеством подаваемого кислорода, а созданием в загрузке дзета-потенциальных заряженных зон. Таким образом получают зоны притяжения волокнами фильтров ионов  $\text{OH}^-$ . Это вызывает повышение pH, подщелачивание среды и выпадение осадка  $\text{Fe}_2(\text{OH})_3$  с усиленной активностью. Но метод обезжелезивания остается «безреагентным». Потому что нет внешнего поступления «чужих» ионов.

Разгадка механизма волокнистого фильтрования [К] позволила обходиться без мощных аэраторов в процессе подачи кислорода на фильтры, кислород воздуха нельзя использовать более стехиометрического количества в известной химической реакции окисления железа [К-А]. Удешевленный процесс обезжелезивания будет способствовать его популяризации. Уже были проведены опыты с обезжелезиванием артезианской воды из водозаборных скважин

Севера ДНР (2013 г) с хорошим результатом обезжелезивания, который следует учесть. Причем речь шла о значительных концентрациях общего железа (до 15 мг/л).

В данном случае в наличие относительно небольшая концентрация избыточного железа (6 мг/л), тем не менее двадцатикратно превышающая допустимую для питьевой воды и придающая воде недопустимый цвет и запах. Сейчас поставлена задача применить практически самый доступный, изученный и дешевый метод обезжелезивания – упрощенной и продленной аэрации [4,7], но с использованием особого механизма фильтрования – волокнистого фильтра (вместо традиционного скорого фильтра). Этот фильтр в водоснабжении пока мало применим, но у него есть перспективы для массового использования на практике [5,6]:

– способность в безреагентном режиме, то есть без традиционного применения при обезжелезивании коагулянта, флокулянта и щелочи, создающих много липкого, трудно удаляемого осадка, который нужно промывать и удалять из системы;

– возможность прочистки продувкой воздухом, а не водой, усиливая аэрацию, благоприятствующую процессам окисления;

– компактность и удобство изготовления фильтров по месту монтажа.

- параллельное или последовательное соединение фильтров, взятых в секции, в зависимости от изменения расходов или загрязненности поступающей воды;

В раннем варианте волокнистого фильтрования практиковалось помещение ершовой загрузки в карман входного скорого фильтра на выходе из водозаборной скважины при отсутствии собственно волокнистых фильтров (для нескольких поселков Севера ДНР). В процессе обезжелезивания на такой станции водоочистки возникло соображение поместить смонтированный волокнистый фильтр во входной карман входного скорого фильтра на выходе из скважины. К моменту предложения волокнистого фильтра прежний бескаркасный вариант уже не удовлетворял питьевого качества воды. В варианте с волокнистым фильтром технологическая схема дана на рисунке 1. Для обеззараживания воды и сооружений рекомендуется хозяйство гипохлорита натрия [9]. Химсостав воды дан в таблице 1, Водоочистная станция – на рисунке 1.

Таблица 1 - Состав подземной воды из скважины пгт на Юге ДНР

Наименование показателей качества воды	Источник - скважина	
	показатели ср. мин.	показатели макс.
1	2	3
Цветность, град.	8	13
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,3
Запах, баллы	0-1 сер	1-1 сер
Водородный показатель (рН)	7,38	7,50
Жёсткость общая, мг-экв//дм <sup>3</sup>	4,6	5,7
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	56	86
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	46	50
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	306	345
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	2,8	6
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	-	0,178



Продолжение таблицы 1

1	2	3
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>		
Магний, мг/дм <sup>3</sup>		
Окисляемость перманганатная, мг О/дм <sup>3</sup>	1,3	1,6
Общие коли формы (лактозоположительные кишечные бактерии), индекс БГКП, КОЕ/дм <sup>3</sup>	отсутствие	отсутствие
Колымаги, индекс, БОЕ /дм <sup>3</sup>	отсутствие	отсутствие
Энтерококки, КОЕ/дм <sup>3</sup>	отсутствие	отсутствие

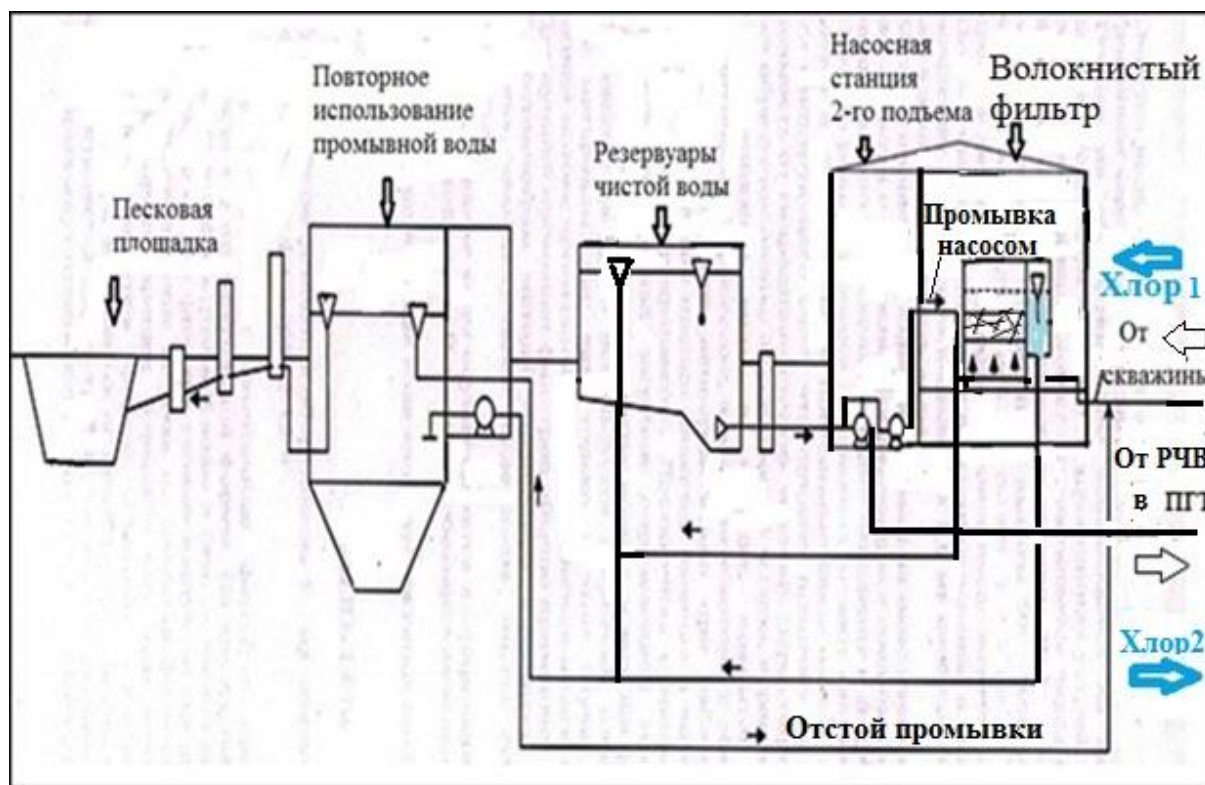


Рисунок 1 – Водоочистная станция ПГТ на Юге ДНР с волокнистым фильтром

### Расчет волокнистого фильтра

Технология волокнистого фильтрования разработана на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и охраны водных ресурсов ДОННАСА в 80-х годах прошлого века для широкого спектра природных и сточных вод и особо рекомендуется для малых производительностей ВОС – до 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [1, 2]. Расчетная практика накопила варианты, общим достоянием которых являются обеспечение интенсивной продленной аэрации загрузки, легкая подстройка под конкретные составы обрабатываемой воды (регулирование окислительных процессов с минимумом использования кислотно-щелочных реагентов или вовсе без них, по возможности). Это обеспечивает экономность и экологичность принятых вариантов технологий. Кроме волокнистых фильтров, в процесс обезжелезивания могут включаться вертикальные отстойники, тонкослойные отстойники, скорые фильтры и другие

солидные очистные сооружения, а также сооружения по обеззараживанию. Особенно удачно ожидается использование волокнистых фильтров в процессах очистки шахтных вод для целой гаммы процессов, в том числе получения питьевой воды для длительно отстаиваемых шахтных вод (лишенных органики).

Вода с добавками необходимых реагентов, вышеуказанных в расчетах (таблица 1), поступает на фильтрующую поверхность волокнистого фильтра и очищается от хлопьев осадка, вобравшего все взвешенные вещества, осевшие на волокнистую загрузку. Промывка фильтрующей поверхности от отработанных хлопьев происходит традиционно – в обратном направлении, но – воздухом. Его подачу нужно организовать. А осадок – изъять из системы и, скорее всего – высушить и захоронить. Для производительности 10 м<sup>3</sup>/ч. по воде его объем не составит проблемы утилизации. Конкретное количество осадка следует из расчетов. Расчеты следуют в таблице 1, в данном случае для маломутных и мало ожеженных вод.

Таблица 1 – Расчет волокнистых фильтров конструкции ДОННАСА по методике [1, 2].

Наименование показателя или элемента	Единица измерения	Формула для определения	Результат
Определение основных параметров волокнистых фильтров			
1. Материал фильтрующей загрузки	Ерши из полиэфирных волокон	Плотность распределения определяется конструктивно удобством и доступностью	По конструктивным соображениям
2. Высота фильтрующей насадки	м	$h_n$	3
3. Расчетная скорость фильтрования в нормальном режиме	м/с	$v_n$ для маломутных вод	8
4. Допустимая скорость фильтрования в форсированном режиме	м/ч	$v_\phi$ для маломутных вод	10
5. Принятая интенсивность продувки	л/(с*м <sup>2</sup> )	$\omega$	20
6. Длительность продувки при регенерации насадки	мин	$t_{пр}=5-10$	7
Продолжение таблицы 3.6			
7. Число продувок в сутки	шт.	$n_{ср}= 4-6$	6

8. Длительность простоя в связи с продувкой	час	$t_{п}$	0,5
9. Суточная производительность фильтров	$м^3/сут$	$Q$	10,3
10. Общая площадь фильтров	$м^2$	$F=Q/v_n(24-n*t_{п}) =$ $=10,3/(24-6*0,5)$	0,49
11. Принятые размеры одного фильтра	м	$a*b$	0,7*0,7
12. Принятая площадь одного фильтра	$м^2$	$F_1=a*b$	0,49
13. Принятое количество фильтров	шт.	$N=F/F_1=0,49/0,49$	1
14. Число фильтров в ремонте	шт.		1
15. Действительная скорость фильтрования в форсированном режиме	м/с	$v_n*N/N = 8*1$ $v_n = v_{ф}$	8
Распределительная система воздуха			
16. Выбранный тип распределительной системы			Воздушный коллектор с боковыми ответвлениями из пластмассовых дырчатых труб
17. Расход воздуха при продувке одного фильтра	$м^3/с$	$\Omega=\omega*F_1/1000=20*0,49/1000$	0,01
Труба для распределения воды по площади фильтра.			
18. Расчетный расход одного фильтра.	$м^3/с$	$q = Q/n$	0,003
19. Количество труб	шт.		1
20. Расход воды на одну трубу	$м^3/с$		0,003

21. Скорость воды в трубе	м/с	По п. 10.7.6 [23]	0,5
22. Площадь сечения трубы	м <sup>2</sup>	$d_1 = q_1/v = 0,003/0,5$	0,006
24. Диаметр трубы	мм	$1000 \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = 1000 \sqrt{\frac{4 * 0,006}{3,14}}$	87 (100)
25. Диаметр отверстия в трубе	мм	$d_o$ не менее 25	25
Размеры фильтра и его объем			
26. Принятый угол между стенками призмы	град	$\alpha=90$	90
27. Высота призматической части	м	$h_{\pi} = 0,5(b-2d_1) \operatorname{ctg}\alpha/2 = 0,5(0,7-2*0,1)$	0,3
28. Полная высота фильтра	м	$H = h_n + h_{\pi} = 3 + 0,3$	3,3
29. Объем фильтрующей насадки и защитной зоны	м <sup>3</sup>	$W_n = a * b (h_n + 0,8) = 0,7 * 0,7 (3 + 0,8)$	1,9
30. Объем призматической части фильтра	м <sup>3</sup>	$W_{\pi} = 0,5a * h_{\pi} (b + 2d_1) = 0,5 * 0,7 * 0,3 (0,7 + 2 * 0,1)$	0,09
31. Объем воды в одном фильтре	м <sup>3</sup>	$W_{\phi} = W_n + W_{\pi} = 1,9 + 0,09$	1,99

Волокнистый фильтр, обычно индивидуально изготавливаемый под конкретный расчет, по месту монтажа, показан на рисунке 2.

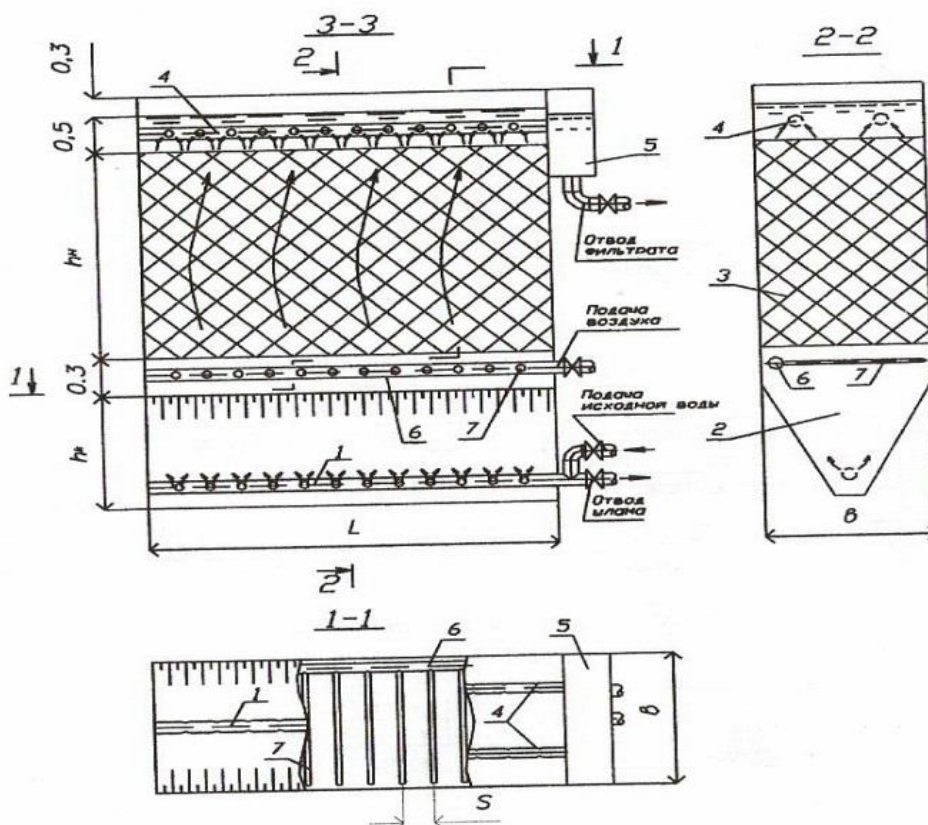


Рисунок 2 – Схема устройства волокнистого фильтра.

1- дырчатая труба для распределения исходной воды; 2- конфузор; 3- волокнистая насадка; 4- дырчатые трубы для сбора осветленной воды; 5- боковой карман; 6- коллектор сжатого воздуха; 7- дырчатые трубы для распределения сжатого воздуха. Стоимость воды со станции с обезжелезиванием воды на волокнистых фильтрах составила 7,1 р/м<sup>3</sup>.

## ВЫВОДЫ

1. Современный кризис водообеспечения Донбасса требует привлечения даже самых незначительных источников и самых совершенных технологий их эксплуатации.
2. Применение обезжелезненных подземных вод в более широком масштабе позволит дополнить использование поверхностных вод даже в сфере питьевого водоснабжения, что становится вынужденной, но полезной практикой.
3. Еще достоинства разработанной технологии: возможность начать ее с очень малых расходов и распространить на любые большие. Очевидно, возможно тиражирование волокнистых фильтров, соединение их в последовательные или параллельные блоки. А также изготовление их из недефицитных и вторичных материалов, легкость монтажа, мобильность в системе водоочистки.

## Список литературы

1. СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения статус: действует по 31.12.2024. Утвержден: главный государственный санитарный врач РФ, 25.07.2001 [1,8].

2. Куликов Н. И., Найманов А. Я., Омельченко Н.П., Чернышев В.Н. Теоретические основы очистки воды. Учебное пособие. – Донецк: и-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. с. 97-98, 274-290.
3. Найманов А.Я., Никиша С.Б., Насонкина Н.Г., Омельченко Н.П., Мослак В.Н., Зотов Н.И., Никиша С.Б., Неманова А.А. Водоснабжение. – Донецк.: изд-во «Норд-Пресс», 2004, с. 420-426, 428-457.
4. Клячко В.А., Апельцин А.С. Очистка природных вод. – М.: Стройиздат, 1971, - с. 415-423, с. 415-423.
5. Николадзе Г.И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения: [Текст]/ Д.М. Минц, А.А.Кастальский. - 2-е изд., перераб. и доп. – М. Высшая школа.1984. –368 с.
6. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты: Учеб. пособие для вузов [Текст]. – 4-е изд., репринтное. – М.: БАСТЕТ, 2008. – 304 с.– ISBN 978-5-903178-09-4.
7. Фрог Б. Н. Водоподготовка /Б.Н. Фрог., Первов А.Г. //Учебник для вузов. – М.: Издательство АСВ, 2015г. - с. 287-410.
8. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования – М.: Стройиздат, 1985. – 134 с.
9. Методические указания к выполнению курсового проекта по водоснабжению промышленных предприятий. (для студентов специальности «Водоснабжение и водоотведение» всех форм обучения) / сост. Синежук И.Б., Рожков В.С., Макеевка, ДОННАСА, 2011.-56 с.
10. Омельченко М.П., Коваленко Л.І. Про розрахунок волокняних фільтрів// «Проблеми екології» №1, 2012. с. 37-42.

УДК 622.691.4

**Головач Юлия Александровна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТГВ;  
**Колотыгин Александр Сергеевич**,  
магистрант гр. ЗТГВм-53а кафедры ТГВ;  
**Ермакова Елена Викторовна**,  
магистрант гр. ЗТГВм-53б кафедры ТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

*Повышение уровня надежности при эксплуатации объектов газораспределительной системы - сложная задача, которая требует учитывать технические, организационные и информационные аспекты, а также взаимовлияние различных факторов. Актуальность данного вопроса обусловлена увеличивающимся количеством аварий, инцидентов и несчастных случаев на объектах газовых сетей.*

*В статье рассматривается понятие надежности, приведены характерные особенности распределительных сетей, описаны методы повышения надежности в системах газоснабжения на этапах проектирования, строительстве и эксплуатации.*

*Ключевые слова: природный газ, технологическая надежность, эксплуатационная надежность, газовые сети, пропускная способность, утечки газа, реконструкция, секционирование*

Современные распределительные системы газоснабжения представляют собой сложные и разветвленные газотранспортные системы. Активный рост потребления газового топлива требует внедрения современных эффективных схем его распределения и автоматизации систем управления процессами газораспределения.

Характерной особенностью распределительных газовых сетей является то, что они:

- имеют иерархическую структуру, что отличает их от других сетей (водопроводных, тепловых);
- представляют собой системы длительного действия. Длительность действия и сложность приводят к увеличению вероятности появления отказов и повышают требования к надежности;
- имеют социальный характер, так как они обслуживают население и обеспечивают их нормальную жизнедеятельность [1-3].

Под надежностью распределительной системы газоснабжения понимают ее способность транспортировать и распределять газ потребителям в необходимых количествах с соблюдением заданных параметров при нормальных условиях эксплуатации.

Надежность системы газоснабжения определяется уровнем работ на трех основных этапах ее формирования: этапе проектирования, этапе строительства и этапе эксплуатации [4-6].

1. На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования ожидаемой надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для решения организационно-технических вопросов: выбора оптимального варианта схемы; способа резервирования; количества запасных элементов; периодичности профилактики (технологическая надежность).

2. На этапе строительства решаются вопросы повышения качества строительно-монтажных работ, сварочных работ, повышения требований к качеству конструкций и используемых материалов.

3. На этапе эксплуатации системы газоснабжения производится диагностика состояния и прогнозирование ее надежной работы, а также поддержание расчетных режимов транспортировки газа (эксплуатационная надежность).

На этапе эксплуатации необходимо своевременное принятие мер по предупреждению аварийных ситуаций, выполнение надлежащего контроля за состоянием газовых сетей, поддержание высокого уровня организации аварийной службы и обеспеченности запасными деталями и материалами.

Именно выбросы и утечки газа из газопроводов являются одним из главных факторов, влияющих на надежность и безопасность эксплуатации газораспределительных систем, представляя серьезную опасность взрывов и возгораний с последующим травмированием и гибелью людей, разрушением зданий и сооружений. Если не осуществлять мероприятия по предупреждению аварийности на объектах газораспределительной системы, то с течением времени количество повреждений будет стремительно возрастать [7-9].

Важно взаимосвязанно рассматривать этапы проектирования, строительства и эксплуатации газораспределительной системы. Данные о нагрузках, полученные при эксплуатации, позволяют корректно обосновать конструктивные решения, выбор способа прокладки, материала и толщины стенки труб, в свою очередь решение этих задач обуславливает выбор оптимальных технологических режимов эксплуатации.

В процессе эксплуатации даже при отсутствии ограничений со стороны магистральных газопроводов и полной исправности всех элементов системы потребители могут не получать природный газ в необходимом количестве. Причиной этого может являться подключение к газотранспортной сети объектов, не учтенных проектом, и тогда суммарная потребность в газе превысит пропускную способность системы [10].

Снижение надежности системы газораспределения в данном случае можно определить по формуле

$$N = \frac{Q_m - (Q_m - Q)}{Q_m} = \frac{Q}{Q_m}, \quad (1)$$

где  $Q_T$  – требуемое суммарное газопотребление в момент исследования системы;

$Q$  – суммарное газопотребление, которое может обеспечить система (расчётное, учтенное проектом газопотребление).

Несоответствие системы новым условиям эксплуатации при отсутствии отказов всех её элементов является формой проявления морального старения системы. Результатом морального старения является неспособность обеспечить необходимую производительность. Причиной является повышение газопотребления, снижение точности пределов регулирования и надежности, возрастание энергоёмкости и т.д. Для устранения этого необходима реконструкция системы

Неудовлетворительные режимы давления сохраняются особенно в сетях низкого давления, где непроизводительные потери газа составляют более 0,7% общего расхода газа. Следовательно, реконструкцию системы газоснабжения необходимо проводить за счёт мероприятий с целью повышения пропускной способности системы, чтобы при этом выполнялось условие:

$$\Delta Z \rightarrow \min \text{ или } \Delta K \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\Delta Z$  и  $\Delta K$  – дополнительные приведённые затраты и дополнительные капитальные вложения, соответственно, необходимые для обеспечения требуемой производительности системы.

Для увеличения срока эксплуатации системы газоснабжения без реконструкции рекомендуются следующие мероприятия для повышения надежности:

- организация резервного топливоснабжения (жидким или твердым топливом, регазифицированным метаном или парами тяжелых углеводородов и др.);
- сооружение подземных-хранилищ газа;



– перераспределение потоков газа за счет программного изменения давления на выходе из ГРС и головных ГРП, с тем чтобы обеспечить избирательность снабжения потребителей в соответствии с их социальной и народнохозяйственной значимостью (при этом одни предприятия обеспечиваются газом за счет ограничения других).

При перераспределении газа вначале обеспечивают полное газоснабжение жилого и социального фонда (больниц, детских дошкольных учреждений и т.д.), затем объектов социального назначения, после этого – объектов, где ограничение в газе приносит только стоимостный ущерб (из них в первую очередь снабжаются газом те, где этот ущерб наибольший, и далее по мере снижения этого ущерба). Величину ущерба определяют на основании изучения хозяйственно- производственной деятельности данных объектов.

Кроме того, для увеличения срока эксплуатации системы необходимо предусматривать превентивные меры при проектировании. Они предусматривают рассмотрение исходной информации о развитии системы газоснабжения как статистически неопределенную и предлагают при выборе основных параметров системы исходить из их вероятностных значений. Для реализации методики необходимо располагать необходимым количеством статистических наблюдений на основе опыта эксплуатации систем газоснабжения в других городах, статистикой отклонения фактических параметров от принятых в проекте. Необходимо учитывать специфику городов и их развития, а также возникновение неучтенных при проектировании потребителей газа. Данные за рассматриваемый период не всегда могут в полной мере экстраполироваться на будущее, поэтому вероятностные характеристики таких величин очень часто содержат некоторую погрешность. Однако они помогают в большей мере выявить общую тенденцию будущих условий развития системы. Таким образом, задача сводится к тому, на что ориентироваться при проектировании – на данные перспективных схем газоснабжения, разработанные на основании их генеральных планов, или на ожидаемые отклонения от этих схем. Решение задачи заключается в выборе варианта одно, двух или многостадийного сооружения системы и определения, какой из этих вариантов является наименее капиталоемким.

Для повышения надежности системы можно применять различные проектные решения [11, 12], в том числе:

– использование более надежных элементов или организацию мероприятий, повышающих их надежность (например, использование стали с повышенными прочностными характеристиками, более долговечных изоляционных материалов, установка компенсаторов, повышенные требования к проведению строительно-монтажных работ и др.);

– введение в схему избыточных элементов для организации резервов (параллельные прокладки, кольцевание газопроводов, секционирование газопроводов на участки и др.);

– установку дополнительных ГРП с целью уменьшения их радиуса действия;

– организацию кольца газопроводов вокруг ГРП с равнопропускными полукольцами большого диаметра (если в радиусе действия ГРП менее 8 участков, то кольцо разделит зону действия ГРП на две подзоны – каждую с количеством участков, менее 4; если в радиусе действия ГРП более 8 участков, количество таких колец может увеличиться до 3);

– увеличение диаметров некоторых участков сети против их расчетных значений, полученных из условий оптимизации этой сети, главным образом за счет отказа от газопроводов диаметром 80 мм и менее с надежностью, на порядок меньшей, чем газопроводы диаметром более 80 мм (поскольку отказы участков с данным диаметром равновероятны, то при реализации этого мероприятия необходимо увеличивать диаметры всех участков данного диаметра).

Прокладка параллельных, дублирующих ниток газопроводов, кольцевание сетей сокращают число аварийных ситуаций, приводящих к отказу системы, тем самым повышают уровень надежности.

Секционирование связано с увеличением числа элементов сети и поэтому увеличивает число аварийных состояний систем, но сокращает недодачу газа потребителям при отказах. Присоединение потребителей к кольцевому газопроводу двумя параллельными

ответвлениями с двух сторон секционирующей задвижки исключает влияние отказов газопроводов на надежность систем газораспределения.

Секционирование приводит к повышению надежности и не требует больших дополнительных капитальных затрат, поэтому оно должно применяться в первую очередь. Если путем секционирования тупиковой сети требуемый показатель надежности достичь не удастся, тогда следует использовать кольцевание.

Подключение проектируемых потребителей газа не должно ухудшать условий газоснабжения действующих систем.

Выполнение технических условий является обязательным для потребителей и проектных организаций, которым поручается разработка проекта газоснабжения. Отступление от технических условий допускается лишь с разрешения выдавшей их организации. При проектировании систем газоснабжения следует предусматривать наиболее прогрессивные технические решения, обеспечивающие рациональное использование газового топлива.

Газовые сети и сооружения на них следует проектировать с учетом максимальной индустриализации строительно-монтажных работ за счет применения сборно-блочных, стандартных и типовых элементов и деталей, изготавливаемых на заводах или в заготовительных мастерских. При этом необходимо учитывать современные методы производства строительно-монтажных работ и возможность использования типовых проектов.

#### **Список литературы**

1. Ионин, А. А. Надежность городских систем газоснабжения [Текст] / А. А. Ионин, К. С. Айбеков, В. А. Жила и др. - М. : Стройиздат, 1980. - 231 с.
2. Жила, В. А. Разработка методики определения оптимальных показателей надежности элементов систем газораспределения : монография / В. А. Жила, Ю. Г. Маркевич, Е. Б. Соловьева. – Москва : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 125 с. – ISBN 978-5-7264-1258-0. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/42910.html>.
3. Варфоломеев, В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В. А. Варфоломеев, Я. М. Торчинский, Р. Н. Шевченко – К.: Будівельник, 1988. – 231 с.
4. Абрамов, А. Н. Эксплуатационная надежность технических систем: учеб. пособие / А. Н. Абрамов. – М.: МАДИ, 2019. – 120 с.
5. Ветошкин, А. Г. Надёжность технических систем и техногенный риск / А. Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 154 с.
6. Рудаченко, А. В. Эксплуатационная надежность трубопроводных систем: учебное пособие / А. В. Рудаченко, С. С. Байкин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 117 с.
7. Белодворский, Ю. М. Утечки газа, их причины и устранение / Ю. М. Белодворский. – Л.: Недра, 1965. – 150 с.
8. Белодворский, Ю. М. Эксплуатация газового хозяйства / Ю. М. Белодворский. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Стройиздат, 1971. – 223 с.
9. Ионин, А. А. Интенсивность отказов участков газопроводов городских газовых сетей / А. А. Ионин, В. А. Жила // Газовая промышленность. – 1972. – №10. – С. 20-24.
10. Тихомиров, С.А. Влияние падения нагрузки потребителей на оптимальную величину давления источника газоснабжения / С.А. Тихомиров, Г.С. Гришин, В.А. Маринченко // Инженерный вестник Дона, 2017. – №2. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4201](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4201).

11. Торчинский, Я. Л. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем / Я. Л. Торчинский. – Л.: Недра, 1988. – 240 с.
12. Медведева, О. Н. Газоснабжение : учебник / О. Н. Медведева. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 845 с. – ISBN 978-5-4497-1602-6. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/120934.html>.

УДК 622.691.4

**Головач Юлия Александровна,**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;

**Урванцев Владислав Владимирович,**  
магистрант гр. ЗТГВм-53а кафедры ТТГВ;

**Поповиченко Владимир Андреевич,**  
магистрант гр. ЗТГВм-53б кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*В процессе эксплуатации газовые сети подвергаются большому спектру нагрузок и воздействий. Все большую актуальность приобретает проблема обеспечения надежной работы и безопасной эксплуатации стальных надземных газопроводов.*

*В статье проанализированы основные причины возникновения повреждений надземных газопроводов, вследствие которых происходят утечки газа. Выявлено, что отказы газопроводов возникают при нарушении их герметичности вследствие механических повреждений, коррозионных повреждений, разрывов сварных стыков, природных явлений и техногенных процессов.*

*Рассмотрены регламентные работы по мониторингу технического состояния газопроводов, описаны мероприятия для предупреждения возникновения аварий.*

*Ключевые слова: природный газ, надземные газопроводы, надежность, безопасность, утечки газа, коррозия, техническое диагностирование, технический осмотр, текущий ремонт*

Надежность и безопасность транспортирования природного газа является важным вопросом в развитии промышленности и энергетического обеспечения Российской Федерации.

К числу приоритетных задач государственного управления согласно [1], обязывающему предприятия предоставлять в органы надзора «Декларацию безопасности промышленного объекта», предопределяющую возможные риски возникновения аварийных ситуаций на объекте, входит, в том числе, и проблема промышленной безопасности объектов газораспределительных систем. Свод правил [2], который устанавливает нормы и правила проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, расширения и технического перевооружения сетей газораспределения, выделяет приоритетность требований, направленных на обеспечение надежной и безопасной эксплуатации сетей газораспределения.

Одними из основных факторов, оказывающих влияние на безопасность эксплуатации систем газораспределения, являются утечки газа из газопроводов, представляющие серьезную опасность взрывов и возгораний с последующим травмированием и гибелью людей, разрушением зданий и сооружений. Анализ имеющихся статистических данных по аварийным ситуациям в системах газораспределения и газопотребления показал, что из общего количества аварий, связанных с распределением и использованием природного газа, повреждения газопроводов составляют 40-50%. При этом на аварии на надземных газопроводах приходится порядка 25% [3-5].

Согласно многочисленным данным, опубликованным в [6, 7], аварийные ситуации на надземных газопроводах возникают при нарушении их герметичности вследствие механических повреждений (чаще строительной техникой и автомобилями), коррозионных повреждений, разрывов сварных стыков, при возникновении природных и природно-

техногенных явлений и под влиянием движения грунта. Аварии сопровождаются появлением отверстий в трубах, разрушением стыковых соединений, возникновением трещин.

Большая часть повреждений надземных газопроводов происходит по вине третьих лиц, в частности, в результате проведения строительных, аварийно-ремонтных, восстановительных работ, по причине дорожно-транспортных происшествий и по вине газораспределительных организаций, главным образом, в результате нарушения проектными организациями нормативных требований по размещению надземных газопроводов, нарушения правил эксплуатации газопроводов [8-10].

На среднем уровне стоят аварии, связанные с коррозионным повреждением газопроводов, причем большинство таких аварий присутствует на газопроводах, не отслуживших нормативный срок. В большинстве случаев такие повреждения указывают на отсутствие контроля за техническим состоянием газопроводов со стороны эксплуатирующих организаций и низкий уровень технадзора в процессе строительства.

Невысокий уровень организации работ, недостаточная материально-техническая оснащенность строительных организаций приборами контроля за качеством сварки и изоляции, низкая квалификация лиц технического контроля за строительством также становятся причинами аварийных ситуаций [11, 12].

Небольшое число аварий происходит по не зависящим от человека причинам - вследствие природных явлений (ветер, осадки и т.д.).

Распространенная причина аварий на объектах газораспределения – это несоблюдение персоналом Правил безопасности систем газораспределения и газопотребления, а также Инструкции по производству газоопасных работ.

Согласно [13] в процессе эксплуатации сети газораспределения необходимо выполнять следующие регламентные работы по мониторингу технического состояния газопроводов:

- проверку состояния охранных зон газопроводов;
- технический осмотр (осмотр технического состояния) газопроводов;
- оценку технического состояния газопроводов;
- техническое диагностирование газопроводов.

При техническом осмотре надземных газопроводов путем внешнего осмотра выполняют следующие работы:

- выявление утечек газа;
- проверку состояния газопроводов (на предмет наличия их перемещений от оси газопровода, вибраций и деформаций, мест повреждения защитного покрытия), их опор и креплений;
- проверку состояния устройств выхода газопровода из земли, футляров и защитного покрытия газопровода в местах его входа и выхода из земли;
- проверку состояния трубопроводной арматуры, компенсаторов, электроизолирующих соединений, средств защиты от падения электрических проводов, габаритных знаков в местах проезда автотранспорта;
- проверку строительных конструкций надземных переходов;
- выявление нарушений состояния грунта в местах установки опор надземного газопровода вследствие его просадки, обрушения, эрозии, размыва паводковыми или дождевыми водами.

Технический осмотр надземных стальных газопроводов со сроком службы свыше 15 лет на застроенной территории поселений с давлением газа от 0,005 МПа до 1,2 МПа должен производиться 1 раз в 6 месяцев, на незастроенной территории и вне поселений – 1 раз в год. Технический осмотр надземных газопроводов, подлежащих капитальному ремонту и реконструкции, необходимо осуществлять:

- на застроенной территории поселений с давлением газа до 0,005 МПа включительно - 1 раз в неделю,
- на застроенной территории поселений с давлением газа свыше 0,005 МПа до 1,2 МПа включительно - 2 раза в неделю,

- на незастроенной территории и вне поселений – 1 раз в месяц.

Оценку технического состояния газопроводов проводят в соответствии с методикой, утвержденной в установленном порядке. Периодичность проведения оценки технического состояния надземных газопроводов устанавливает ГРО или эксплуатационная организация самостоятельно, но не реже 1 раза в 10 лет. Первую плановую оценку технического состояния стальных надземных газопроводов необходимо проводить через 40 лет после ввода их в эксплуатацию.

При техническом обслуживании газопроводов не реже 1 раза в год необходимо производить восстановление локальных мест повреждения лакокрасочного покрытия надземных стальных газопроводов, восстанавливать фундаменты опор надземных газопроводов, производить очистку охранных зон газопроводов от посторонних предметов и древесно-кустарниковой растительности, проверять интенсивность запаха газа. Кроме того необходимо следить за состоянием трубопроводной арматуры газопроводов и своевременно устранять имеющиеся неисправности.

Также необходимо своевременно устранять смещения за пределы опор и деформаций (провис, прогиб) надземных газопроводов, производить восстановление и замену устройств защиты надземных газопроводов от падения электрических проводов, восстановление опор (креплений). Эти мероприятия проводятся по результатам мониторинга технического состояния и проведения технического обслуживания надземных газопроводов при текущем ремонте.

При эксплуатации надземных газопроводов, проложенных в особых условиях, предусматриваются внеплановые технические осмотры, по результатам которых определяют необходимость проведения технического обследования или оценки технического состояния газопроводов. Внеплановый технический осмотр надземных газопроводов низкого давления, расположенных на подрабатываемой территории в период активной стадии сдвижения земной поверхности, необходимо осуществлять 1 раз в 7 дней, среднего и высокого давления – ежедневно.

Таким образом для предупреждения возникновений аварийных ситуаций необходимы:

- строгое соблюдение требований нормативных документов и приказов Ростехнадзора, контроль выполнения правил технической эксплуатации, строгое соблюдение требований техники безопасности,
- качественное строительство объектов согласно проектной документации,
- использование энерго- и ресурсосберегающих технологий и материалов для обеспечения бесперебойной работы и надежной эксплуатации газопроводов,
- своевременное проведение работ по выявлению дефектов оборудования и материалов, их ремонт или замена,
- мониторинг противокоррозионной защиты,
- качественное выполнение аварийно-ремонтных и восстановительных работ,
- соблюдение правил и периодичности технического обслуживания и ремонта газопроводов.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234).
2. СП 62.13330.2011. Свод правил. Газораспределительные системы. [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002. – Введ. 2011-05-20. - М.: Минрегион России, 2011. – 64 с.
3. Соловьева, Е. Б. Моделирование условий обеспечения безопасности эксплуатации надземных газопроводов [Текст] : автореферат дис. ... к-та техн. наук : 05.23.03 : защищена 16.12.08 / Соловьева Елена Борисовна. – М.: СГТУ, 2008. - 150 с.

4. Медведева, О. Н. Газоснабжение : учебник / О. Н. Медведева. – М : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 845 с. – ISBN 978-5-4497-1602-6. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/120934.html>.
5. Фастов, Л. М. Надежность систем газоснабжения: монография / Л. М. Фастов, О. Н. Медведева. – Саратов: СГТУ, 2012. - 148 с.
6. Ионин, А. А. Надежность городских систем газоснабжения [Текст] / А. А. Ионин, К. С. Айбеков, В. А. Жила и др. - М. : Стройиздат, 1980. - 231 с.
7. Варфоломеев, В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В. А. Варфоломеев, Я. М Торчинский, Р. Н. Шевченко – К.: Будівельник, 1988. – 231 с.
8. Ионин, А. А., Газоснабжение: учебник для студентов вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» / А. А. Ионин, В. А. Жила, В. В. Артихович, М. Г. Пшоник. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 472 с.
9. Ионин, А. А. Надежность городских систем газоснабжения [Текст] / А. А. Ионин, К. С. Айбеков, В. А. Жила и др. - М. : Стройиздат, 1980. - 231 с.
10. Варфоломеев, В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В. А. Варфоломеев, Я. М Торчинский, Р. Н. Шевченко – К.: Будівельник, 1988. – 231 с.
11. Белодворский, Ю. М. Утечки газа, их причины и устранение / Ю. М. Белодворский. – Л.: Недра, 1965. – 150 с.
12. Белодворский, Ю. М. Эксплуатация газового хозяйства / Ю. М. Белодворский. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Стройиздат, 1971. – 223 с.
13. ГОСТ 34741-2021 Системы газораспределительные. Требования к эксплуатации сетей газораспределения природного газа. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 114 с.

УДК 696.2

Сапрунова Анастасия Владимировна  
магистрант 2-го курса кафедры ТТГВ;  
Удовиченко Злата Викторовна  
кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой ТТГВ,  
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

## ОБОСНОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ГАЗА

*Газ в жилых домах транспортируют по газопроводам низкого давления. Поскольку сети низкого давления имеют высокую стоимость и большую металлоемкость, поэтому точное определение расчетных расходов имеет большое значение для экономических показателей системы, а также для надежности поставки газа потребителям.*

*В данной статье рассмотрен процесс потребления газа и выбросы от уровня расчетного расхода газа. Оценен уровень обеспеченности расчетных расходов газа.*

*Ключевые слова: надежность, газ, расчетный расход, уровень надежности, газоснабжение, стационарный, корреляция*

Надежность определения расчетных параметров газа должна быть обоснована экономическими соображениями. Однако из-за отсутствия необходимой информации об ущербах, связанных с нарушениями газоснабжения коммунально-бытовых потребителей, и в силу принципиальной сложности получения такой информации, большой практический интерес представляет определение расчетных показателей процесса потребления газа с помощью теории случайных процессов. Эти показатели позволяют оценить уровень обеспеченности расчетных расходов газа.

Для систем газоснабжения научно обоснованный уровень надежности для определения расчетных расходов можно получить статистической обработкой конкретных рядов наблюдений за газопотреблением на основании теории случайных выбросов. Применяя эту теорию, можно определить частоту появления максимальных расходов газа выше заданного уровня, среднюю продолжительность одного выброса и время пребывания выброса за уровнем.

Чтобы получить необходимые формулы для вычисления этих величин, рассмотрим случайный процесс  $Q(t)$  – часового потребления газа длительностью  $T$ , расходуемого на бытовые нужды. На рисунке 1 приведена реализация наблюдений режимов газопотребления, т.е. конкретный вид случайного процесса, полученный в результате опыта. В интервале времени  $T$  реализация  $Q(t)$  может  $N$  кол-во раз пересекать фиксированный уровень  $Q_{\text{расч}}$  снизу вверх (положительный выброс) и наоборот – сверху вниз (отрицательный выброс). Причем первый раз такое происходит в момент времени  $\tau_0$ . Величины  $\tau$  и  $\theta$  называют соответственно длительностями положительных выбросов и интервалами между выбросами. Все эти величины представляют собой вероятностные характеристики случайного процесса и могут принимать различные значения (в зависимости от уровня  $Q_{\text{расч}}$  и интервала  $T$ ) в пределах одной реализации [1].

Для определения этих характеристик с помощью разработанной теории необходимо, чтобы режим потребления газа  $Q(t)$  как случайный процесс был непрерывным и дифференцируемым. Газ потребляют постоянно, поэтому режим потребления газа описывается непрерывной функцией от времени. На конечном интервале времени  $T$  случайная функция  $Q(t)$  будет иметь конечное число максимумов и минимумов с различными значениями  $N$  – величина максимума или минимума [2].



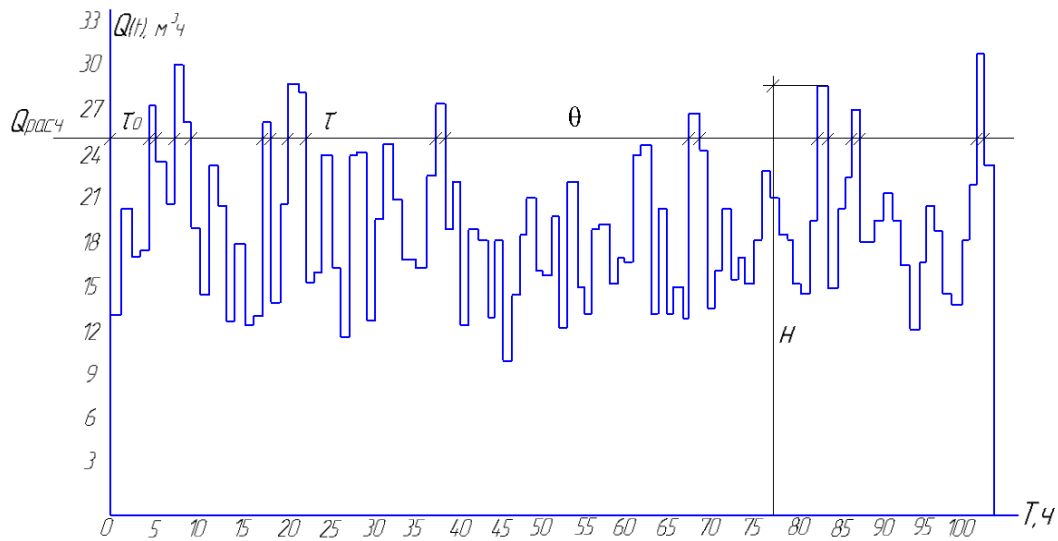


Рисунок 1 – Процесс потребления газа и выбросы от уровня расчетного расхода газа

Стационарный случайный процесс будет дифференцируемым, если существует вторая частная производная от корреляционной функции при нулевом значении ее аргумента. Для этого необходимо построить корреляционную функцию случайного процесса и убедиться в существовании второй производной в точке  $\tau=0$ . Корреляционную функцию процесса газопотребления определяем исходя из корреляционной матрицы, элементы которой являются корреляционными моментами данного случайного процесса.

Оценку корреляционной функции определяем по формуле

$$\widetilde{k}_Q(t_k, t_j) = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n Q_i(t_k)Q_i(t_j)}{n} - \widetilde{m}_Q(t_k)\widetilde{m}_Q(t_j) \right] \frac{n}{n-1} \quad (1)$$

Процесс потребления газа населением является нестационарным, так как математическое ожидание и дисперсия являются функциями времени. Поэтому, чтобы вычислить вероятностные показатели потребления газа, необходимо выбрать такой интервал времени процесса газопотребления, в течение которого можно приближенно его считать стационарным. Приближенно стационарным будет режим только в зоне часов максимального газопотребления, где происходят колебания расхода газа около устойчивого уровня (математического ожидания) [3].

Приближенно для инженерных расчетов можно считать процесс стационарным, осредняя при этом по времени оценки характеристик случайной функции:

а) квартиры оборудованы плитами и водонагревателями:

$$\widetilde{m}_Q = 18,61 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad \widetilde{D}_Q = 20,34 \text{ м}^6/\text{ч}^2.$$

б) квартиры оборудованы только плитами

$$\widetilde{m}_Q = 0,687 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad \widetilde{D}_Q = 0,0451 \text{ м}^6/\text{ч}^2.$$

Определить доверительные интервалы с надежностью, равной 0,95 можно по формуле

$$\Delta Q = t_a \frac{\Delta S_n}{\sqrt{n}}. \quad (2)$$

Относительная погрешность  $\varepsilon$  равна

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta Q}{\widetilde{m}_Q}. \quad (3)$$

а) квартиры оборудованы плитами и водонагревателями:

$$\Delta Q = 1,96 \sqrt{\frac{20,34}{150}} = 0,381$$

$$\varepsilon = \frac{0,381}{18,61} = 0,0205 \text{ или } 2,05 \%$$

б) квартиры оборудованы только плитами

$$\Delta Q = 1,96 \sqrt{\frac{0,0451}{140}} = 0,0351$$

$$\varepsilon = \frac{0,0351}{0,687} = 0,0511 \text{ или } 5,11 \%$$

Относительная погрешность в определении математического ожидания расхода составляет 2,05% и 5,11%. При таком разбросе можно приближенно считать, что потребление газа в интервале времени от 17 до 22 ч является стационарным.

Таким образом, с некоторым приближением к процессу газопотребления можно применить теорию случайных выбросов и обосновать уровень обеспеченности расчетных расходов газа. Полученные параметры функции распределения расхода газа (математическое ожидание -  $\widetilde{m}_Q(t)$  и дисперсия  $\widetilde{D}_Q(t)$ ) позволяют определить расчетные значения максимально-часового расхода газа при различных уровнях надежности. Как отмечалось выше, режим газопотребления является случайным процессом с нормальным законом распределения [4].

Поэтому расчетные значения максимально-часовых расходов газа можно определить по формуле

$$Q_{\text{расч}} = m_Q + a\sigma \quad (4)$$

где  $a$  – параметр нормальной функции распределения, величина которого связана с принятым уровнем обеспеченности  $P_{\text{об}}$

$$P_{\text{об}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\Phi(a) \quad (5)$$

где  $\Phi(a)$  – интегральная функция Гаусса

$$\Phi(a) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^a e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (6)$$

Обеспеченность расхода газа оценивают числом, продолжительностью и площадью выбросов, и интервалами между ними. Число выбросов за единицу времени можно определить с помощью формулы Райса, которая применима для любого дифференцируемого случайного процесса.

Рассмотрим процесс расходования газа  $Q(t)$  длительностью  $T$ . В случайные моменты времени ординаты функции  $\tilde{Q}(t)$  могут принимать значения выше или ниже расчетного расхода газа  $Q_{\text{расч}}$ , т.е. происходят выбросы.

Определим вероятность уровня  $Q_{\text{расч}}$  снизу вверх в течение интервала времени  $dt$ . Для этого необходимо, чтобы в момент  $t$  расход газа был меньше расчетного расхода, а в момент  $(t+dt)$  больше. Тогда вероятность того, что в интервале времени  $dt$  произойдет пересечение уровня  $Q_{\text{расч}}$ , будет

$$P\{Q(t) < Q_{\text{расч}}; \quad Q(t + dt) > Q_{\text{расч}} \quad (7)$$

Учитывая малость интервала  $dt$  с точностью до бесконечно малых второго порядка, получим

$$Q(t + dt) = Q(t) + Q'(t)dt \quad (8)$$

где  $Q'(t)$  – скорость изменения процесса газопотребления

$$Q'(t) = \frac{dQ}{dt} \quad (9)$$

Следовательно, вместо двух неравенств можно написать одно двойное неравенство

$$P\{[Q_{\text{расч}} - Q'(t)dt] < Q(t) < Q_{\text{расч}}\} \quad (10)$$

Учитывая, что пределы интегрирования у внутреннего интеграла отличаются на бесконечно малую величину  $Q'dt$ , этот интеграл можно определить сразу, пользуясь теоремой о среднем

$$\int_{Q_p - Q'dt}^{Q_p} f(Q, Q')dQ = Q'dt f(Q_{\text{расч}}, Q') \quad (11)$$

Подставим полученное значение интеграла в формулу

$$P\{[Q_{\text{расч}} - Q'(t)dt] < Q(t) < Q_{\text{расч}}\} = dt \int_0^{\infty} f(Q_{\text{расч}}, Q')Q'dQ' \quad (12)$$

Чтобы получить среднее число выбросов за единицу времени  $N_0$ , необходимо разделить обе части этого равенства на  $dt$

$$N_0 = \int_0^{\infty} Q'f(Q_{\text{расч}}, Q')dQ' \quad (13)$$

Так как для стационарного дифференцируемого нормального случайного процесса величины  $Q_{\text{расч}}$  и  $Q'$  некоррелированные и независимы друг от друга, двухмерную плотность вероятности можно записать в таком виде

$$f(Q_{\text{расч}}, Q') = f(Q_{\text{расч}})f(Q') \quad (14)$$

В данном случае будет

$$f(Q_{\text{расч}}, Q') = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_Q} e^{-\frac{(Q_{\text{расч}} - m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{Q'}} e^{-\frac{Q'^2}{2\sigma_{Q'}^2}} \quad (15)$$

где  $m_Q$  – математическое ожидание исходного процесса;

$\sigma_{Q'}$  – соответственно среднеквадратическое отклонение случайного процесса и его первой производной.

Подставляя полученную зависимость в формулу для определения  $N_0$  и произведя преобразования, получим

$$N_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\sigma_{Q'}}{\sigma_Q} e^{-\frac{(Q_{\text{расч}} - m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}} \quad (16)$$

Для повышения точности расчета рекомендуется определять среднеквадратическое отклонение процесса изменения первой производной по формуле

$$\sigma_{Q'} = \frac{\sqrt{2}}{\Delta} \sigma_Q \sqrt{1 - R(\Delta)} \quad (17)$$

где  $\Delta$  – длительность интервала ( $\Delta=1$  час);

$R(\Delta)$  – значение нормированной корреляционной функции процесса для значения  $\tau=\Delta$ .

$$R(\tau) = \frac{K(\tau)}{K(0)} = \frac{K(\tau)}{D_Q} \quad (18)$$

где  $K(\tau)$  – среднее значение корреляционной функции при  $\tau = 1$ .

Используя экспериментальные данные, узнаем значение  $K(\tau)$ :

а) квартиры оборудованы плитами и водонагревателями  $K(\tau) = 3,99$ ;

б) квартиры оборудованы только плитами  $K(\tau) = 0,00914$ .

Подставляя полученные величины в формулу для расчета  $N_0$ , определим среднее число выбросов в единицу времени.

Аналогичным способом определяются числа выбросов при других значениях уровня обеспеченности газа [5].

Чтобы определить, сколько раз в году фактическое газопотребление превысит расчетный расход газа, необходимо формулу для  $N_0$  умножить на величину

$$\beta = \frac{t_m}{t_{сут}} \cdot 8760 \quad (19)$$

где  $t_m$  – продолжительность максимального газопотребления в сутки;

$t_{сут}$  - время суток (24ч).

Другой характеристикой случайной функции, с помощью которой оценить выбор величины обеспеченности расчетного расхода газа, является среднее время потребления случайной функции выше заданного уровня  $T_n$  и средняя продолжительность выброса  $\bar{\tau}$ . Для вычисления этих величин разделим промежуток  $T$  на  $n$  равных по величине малых интервалов  $dt_i$  ( $i=1, 2, 3 \dots$ ) и определим вероятность того, что ордината случайной функции  $Q(t_i)$  будет большего значения  $Q_{расч}$

$$P\{Q(t_i) > Q_{расч}\} = \int_{Q_{расч}}^{\infty} f_1(Q) dQ \quad (20)$$

С другой стороны,

$$P\{Q(t_i) > Q_{расч}\} = \frac{T_n}{T} \quad (21)$$

где  $T_n$  – среднее время пребывания случайной функции выше заданного уровня;

$T$  – промежуток времени исследования.

Таким образом, получается, что

$$T_n = T \int_{Q_{расч}}^{\infty} f_1(Q) dQ \quad (22)$$

Чтобы определить среднюю продолжительность выброса  $\bar{\tau}$  за уровень  $Q_{расч}$ , необходимо прежде всего определить среднее число выбросов в течение времени  $T$ . Зная среднее число выбросов в единицу времени  $N_0$  стационарного случайного процесса, можно определить  $N_T$  [6].

$$N_T = N_0 T = T \int_{Q_{расч}}^{\infty} Q' f(Q_{расч}, Q') dQ' \quad (23)$$

Тогда средняя продолжительность выброса за уровень  $Q_{расч}$  будет

$$\bar{\tau} = \frac{T_n}{N_T} = \frac{\int_{Q_{расч}}^{\infty} f_1(Q) dQ}{\int_{Q_{расч}}^{\infty} f(Q_{расч}, Q') Q' dQ'} \quad (24)$$

Учитывая, что для нормального случайного процесса

$$\int_{Q_{расч}}^{\infty} f_1(Q) dQ = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \Phi \left( \frac{Q_{расч} - m_Q}{\sigma_Q} \right) \right\} \quad (25)$$

получим, что выражение для  $\bar{\tau}$  эквивалентно формуле

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N_0} \int_{Q_{расч}}^{\infty} f_1(Q) dQ \quad (26)$$

Окончательно, средняя продолжительность выброса для нормального стационарного случайного процесса будет

$$\bar{\tau} = \pi \frac{\sigma_Q}{\sigma_{Q'}} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{Q_{расч} - m_Q}{\sigma_Q} \right) \right] e^{-\frac{(Q_{расч} - m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}} \quad (27)$$

Принимая обеспеченность газоснабжения  $P_{об} = 0,9$ , можем определить среднюю продолжительность выброса для квартир, оборудованных плитами и водонагревателями и для квартир оборудованными только плитами.

При превышении расчетного расхода газа некоторые потребители будут получать газ ниже расчетного. Поэтому, чтобы определить величину недоотпуска газа, необходимо

вычислить среднюю площадь выброса  $\bar{s}$ , которую для нормального стационарного процесса можно определить по формуле

$$\bar{s} = \frac{\sigma_Q^2}{\sigma_Q} \sqrt{2\pi} + \frac{(m_Q - Q_{\text{расч}})Q_Q}{\sigma_Q} \pi \left[ 1 - \Phi \left( \frac{Q_{\text{расч}} - m_Q}{\sigma_Q} \right) \right] e^{-\frac{(Q_{\text{расч}} - m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}} \quad (28)$$

Учитывая формулу средней продолжительности выброса, окончательно получим

$$\Delta Q = \frac{\sigma_Q^2}{\sigma_Q} \sqrt{2\pi} + (m_Q - Q_{\text{расч}})\bar{t} \quad (29)$$

При обеспеченности, равной 0,9, определим величину недоотпуска газа потребителям, % от расчетного расхода для квартир, оборудованных плитами и водонагревателями и для квартир, оборудованных только плитами.

Таким образом, в результате исследования режима потребления газа с помощью теории случайных процессов можно наглядно сопоставить понятие обеспеченности, выражаемое числом, с реальной картиной нарушений нормального газоснабжения. Предварительно можно считать допустимыми один-два кратковременных нарушения с длительностью до одного часа в течении недели, что почти не снизит качества газоснабжения. Из уровня обеспеченности равного 0,97-0,98 и следует исходить при определении расчетных расходов газа. Из этого уровня обеспеченности и следует исходить при определении расчетных расходов газа.

### Список литературы

1. Ионин, А.А. Надежность городских систем газоснабжения / А.А. Ионин, К.С. Алибеков, В.А. Жила, С.С. Затилян; Под ред. А.А. Ионина. - М. : Стройиздат, 1980. - 231 с.
2. Сазонова, С.А. Разработка математических моделей для мониторинга технического состояния и обеспечения безопасности функционирования систем газоснабжения : монография / С.А. Сазонова, С.А. Колодяжный, Е.А. Сушко. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 110 с. — ISBN 978-5-4497-1070-3.
3. Завгородний, В.Н. Методы статистического описания случайных процессов : электронное учебное пособие / В.Н. Завгородний. – СПб: РГГМУ, 2021. – 214 с.
4. Матальцкий, М.А. Элементы теории случайных процессов : учеб. пособие / М.А. Матальцкий. - Гродно : ГрГУ, 2004. - 326 с.
5. Хищенко, В.И. Выбросы случайных процессов и проблема пересечений уровней / В.И. Хищенко. – М. : Техносфера, 2022. – 582 с. - ISBN: 978-5-94836-658-6
6. Хищенко, В.И. Случайные данные: структура и анализ / В.И. Хищенко. – М. : Техносфера, 2017. – 424 с. ISBN 978-5-94836-497-1.

УДК 62-784.432

**Ратьева Анастасия Григорьевна,**  
студентка 4-го курса  
специальность «Пожарная безопасность»;  
**Капизова Альфия Манцуровна,**  
кандидат химических наук,  
доцент кафедры пожарной безопасности и  
водопользования  
ГБОУ АО ВО «АГАСУ»;  
**Чернышова Анна Геннадьевна,**  
кандидат географических наук,  
доцент кафедры пожарной безопасности и  
водопользования,  
ГБОУ АО ВО «АГАСУ»

### **РАЗРАБОТКА НОВОГО СОРБЕНТА ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

*В данном исследовании рассматривается проблема загрязнения атмосферы в Астраханской области и предлагается новый метод ее решения. Загрязнение воздуха является одним из крупнейших экологических факторов, влияющих на здоровье людей. На территории Астрахани находится множество предприятий, которые не всегда соответствуют нормам очистки воздуха, из-за чего загрязненный воздух проникает в помещения.*

*Ключевые слова: здоровье, атмосферный воздух, человек, загрязнение, очистка, метод*

В 2021 году количество зафиксированных в России случаев высокого и экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха выросло на 23%. За год было зафиксировано 406 таких инцидентов. Последние исследования показывают, что загрязнение воздуха играет важную роль в заболеваемости и смертности, связанных с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Данные исследований, проведенных в районах с высоким уровнем загрязнения воздуха, свидетельствуют о наличии связи между загрязнением атмосферного воздуха и риском сердечно-сосудистых заболеваний.

Согласно оценкам ВОЗ, в 2022 году около 58% преждевременных смертей, связанных с загрязнением наружного воздуха, были вызваны ишемической болезнью сердца и инсультом, 18% - хронической болезнью легких и острыми инфекциями нижних дыхательных путей, а 6% - раком легких.

Исследование темы происходило с помощью нескольких методов описания, эксперимента, сравнения и анализ полученных данных, формирование выводов.

Тенденции изменения уровня загрязнения атмосферы в г. Астрахань за 2018 – 2022 годы демонстрируют повышение средних концентраций по пыли, диоксиду серы, сероводороду,

По данным федерального проекта «Чистый воздух» и национального проекта «Экология» доля населения региона, проживающего в неблагоприятных условиях по загрязнению атмосферного воздуха, составляет 78 %.

Степень загрязнения атмосферы за год оценивается по трём показателям:

- Индекс загрязнения атмосферы - ИЗА,
- Стандартный индекс (СИ)
- Наибольшая повторяемость превышения ПДК (НП).

Характеристики загрязнения атмосферы в городе Астрахани с 2018 по 2022 годы вы можете наблюдать на диаграмме (рис.1).

Величина индекса ИЗА за 2021 год значительно отличается от предыдущих, из-за изменения методики оценки уровня загрязнения в соответствии с требованиями СанПиН, а также с изменением перечней и приоритета веществ, определяющих комплексный индекс загрязнения атмосферы.

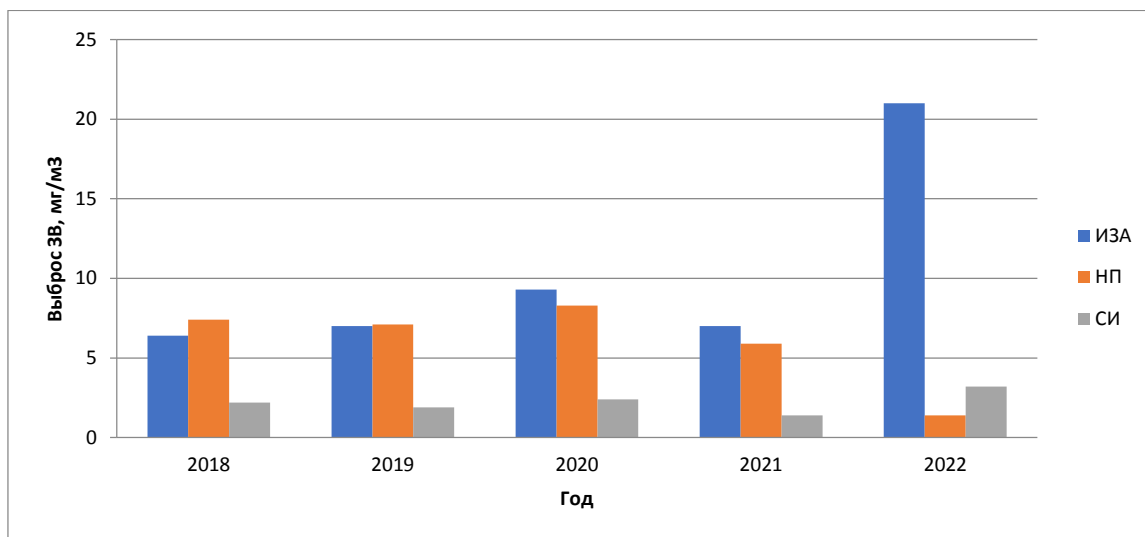


Рисунок 1 - Изменения уровня загрязнения атмосферы различными примесями, ИЗА, НП, СИ за 2018 – 2022 годы по городу Астрахань

Всё это проникает в помещения, где воздух застаивается.

С целью снижения уровня загрязнения воздуха в помещениях широко используется сорбционная очистка воздуха. Однако существующие системы имеют свои недостатки, такие как короткий срок действия и высокая стоимость. В связи с этим была проведена разработка нового материала, который способен эффективно улавливать органические соединения из воздуха и очищать его.

На рынке сорбционных материалов присутствуют следующие аналоги:

- угольные фильтры (могут работать только 2-3 месяца),
- кассетные фильтры (маленький температурный диапазон),
- нера фильтры (не очищают воздух от токсинов и довольно дорогие).

На основании вышеизложенного анализа, нашей целью стало создание нового материала для сорбционной очистки воздуха.

Наше здоровье напрямую зависит от того, чем мы дышим. К сожалению, очистить уличный воздух является для нас неразрешимой задачей. Однако в наших силах сделать воздух помещений, в которых мы находимся, максимально чистым. В этом вопросе нам и помогает приточная вентиляция, оснащенная качественной фильтрацией воздуха: она способствует устранению из воздушных масс различных загрязнений и пыли, которые могли бы осесть в наших легких.

Одним из способов была рассмотрена сорбционная очистка воздуха с внедрением в него нового материала, который экологически чистый в производстве и использовании, дешевле аналогов, присутствующих на рынке. (рис.2).

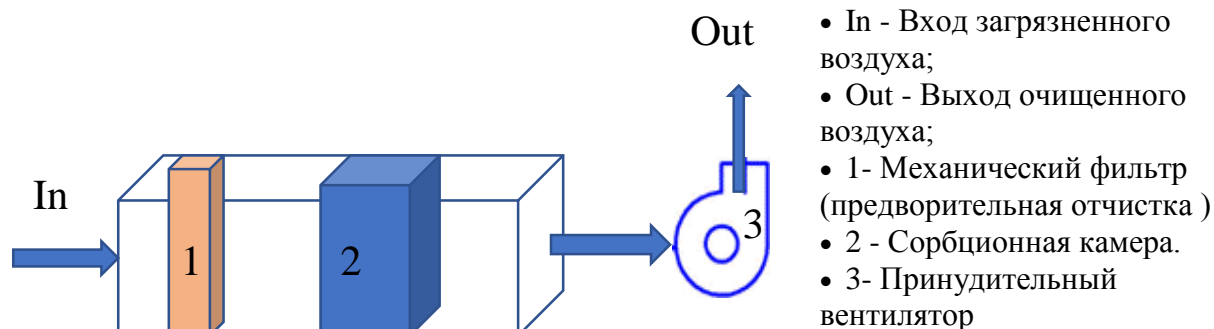


Рисунок 2 - Схема сорбционной очистки воздуха

Сорбционная технология основана на способности определенных веществ (сорбентов) улавливать вредные газы из воздушного потока. Данная система эффективно осуществляет обработку газозвушной смеси при небольших концентрациях загрязняющих веществ, или завершающую доочистку на выходе из электростатического или газоочистного комплекса. Установка очистки представляет собой емкость с сорбентом, через которую пропускается загрязненный воздух.

Были выбраны основные требования к сырью, в особенности, чтобы климат позволял выращивать в больших объемах. После чего была произведена серия опытов для первоначальных исследований нового материала САП-2.

Разрабатываемый сорбент соответствует следующим характеристикам:

- Обладает выраженными антиоксидантными особенностями по отношению к различным пероксидным соединениям.
- Обладает сорбционной вместимостью полученного сорбента по отношению к ферментам- антиоксидантам в пределах - 24 Е/г.
- Ферменты-антиоксиданты с сорбента быстро не изнашиваются, что гарантирует длительное функционирование антиоксиданта и тем самым увеличивает срок годности сорбента.

Таким образом, разработка нового сорбента для очистки воздуха в общественных помещениях является актуальной задачей в свете растущей проблемы загрязнения атмосферы. Новый материал должен быть эффективным, доступным по стоимости и экологически чистым. Он должен способствовать улучшению качества воздуха в помещениях и, тем самым, повышению качества жизни человека

### Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Гужвин А.П., Полунин И.Н. и др. Экологическая безопасность и здоровье. – М.; Астрахань- Астрахань. гос. мед. акад., 2000. – С. 10 1.
2. Александров В. Ю., Кузубова Е. П., Яблокова Е. П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. - Новосибирск, 1995. - 133 с.
3. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан Л.Х. Озонный щит Земли и его изменения. СПб, 1992. - 63 с.
4. Алыкова Т. В., Алыков Н. М., Асанова Д. Р., Салмахаева А. М. Создание и изучение энтеросорбентов с жесткофиксированными антиоксидантами, обладающими ферментативными свойствами // Межвузовский сборник научных статей «Научный потенциал



регионов на службу модернизации», Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2012. - №2 (3). С. 56-60.

5. Архиреева С. И., Онушкевич А. А. Защита атмосферы от выбросов мартеновского производства. - М.: Металлургия, 1992. - 95 с.

6. Капизова А.М., Садомцева О.С., Арсланова А.С. Реснянская А.С. Изучение адсорбции на крахмале ферментов-антиоксидантов, полученных из корня хрена с целью создания энтеросорбента с антиоксидантными свойствами.// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №118 (04). С. 105 – 115.

УДК 697.978

**Монах Светлана Игоревна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;

**Лихтин Станислав Владимирович,**  
магистрант гр.ТГВм-53 кафедры ТТГВ;

**Семенов Геннадий Сергеевич,**  
магистрант гр.ТГВм-53 кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

*Статья рассматривает решение задачи расчета теплообмена в стационарном регенеративном теплоутилизаторе (СРТ). При математическом моделировании теплообмена принято, что теплообменные процессы идентичны во всех каналах насадки регенеративного теплоутилизатора, поэтому при моделировании можно анализировать теплообмен в единичном канале насадки. Получены выражения для температурных полей в периоды аккумуляции и регенерации, а также выражение для определения коэффициента теплоотдачи между насадкой регенератора и воздухом. Авторами определена математическая модель процесса теплообмена между воздухом и регенеративной насадкой СРТ, позволяющая определять изменение температуры воздуха и насадки во времени и пространстве в зависимости от температуры внутренней и наружной среды, геометрии канала насадки, расхода и физических свойств воздуха (теплоносителя), физических свойств материала насадки, режимных параметров СРТ. При этом использована методика определения коэффициента теплоотдачи между воздухом и насадкой наиболее полно отражающая специфику теплообменных процессов в СРТ.*

*Ключевые слова: математическое моделирование, теплообмен, регенеративный теплоутилизатор, канал насадки, период аккумуляции, период регенерации, коэффициент теплопроводности, теплофизические параметры воздуха, геометрия канала, адиабатная поверхность насадки, температурное поле, коэффициента теплоотдачи.*

Математическое моделирование теплообмена в стационарном регенеративном теплоутилизаторе (СРТ) начнем с постановки задачи. В соответствии с рекомендациями В.А. Васильева [1] примем, что теплообменные процессы идентичны во всех каналах насадки регенеративного теплоутилизатора, тогда при математическом моделировании можно рассмотреть единичный канал насадки. На рисунке 1 показаны два соседних (идентичных) канала регенератора, между которыми можно провести адиабатную поверхность. Расстояние между соседними каналами  $2\delta$ . Поперечное сечение каналов принято ромбовидное (см. рисунок 2). Двойной штриховкой показана площадь насадки для одного канала.

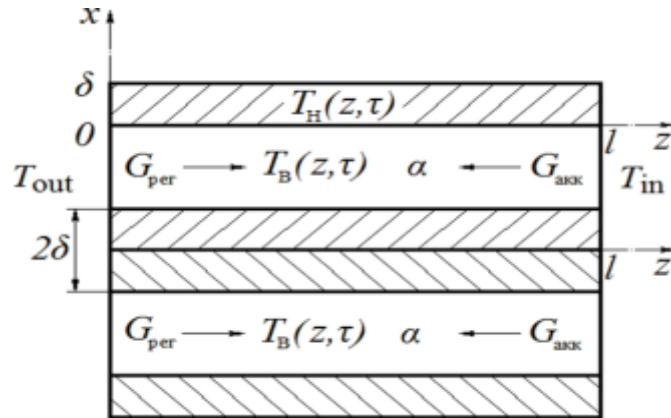


Рисунок 1 – Расчетная схема СРТ

Средняя по сечению канала температура воздуха  $T_B$  изменяется вдоль канала (зависит от координаты  $z$ ), и зависит от текущего времени  $\tau$ . Температурное поле насадки изменяется вдоль канала (зависит от координаты  $z$ ), изменяется по толщине насадки (зависит от координаты  $x$ ), и зависит от текущего времени  $\tau$ .

Обозначим:  $T_B(z, \tau)$  – температурное поле воздуха в канале, °С;  
 $T_H(z, x, \tau)$  – температурное поле насадки, °С.

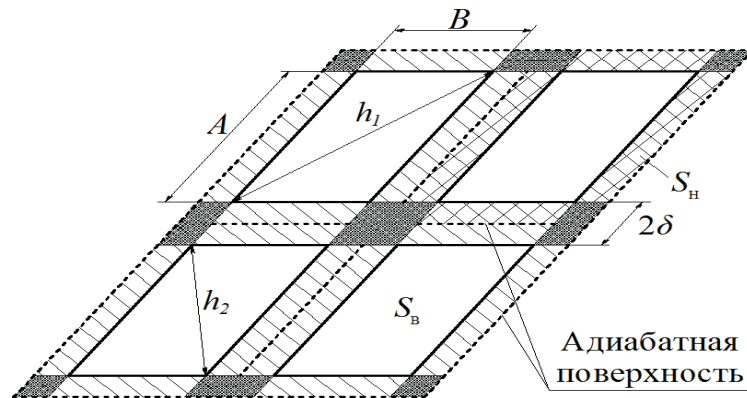


Рисунок 2 – Поперечное сечение 4-х соседних каналов насадки СРТ

Температурное поле воздуха в канале можно получить на основании известного уравнения согласно [1]

$$G \cdot c_B \cdot \frac{\partial T_B(z, \tau)}{\partial z} + \Pi \cdot \alpha \cdot (T_B(z, \tau) - T_{пов}(z, \tau)) + c_B \cdot p_B + (T_B) \cdot S_B \cdot \frac{\partial T_B(z, \tau)}{\partial \tau} = 0, \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \quad (1)$$

$0 < \tau < n \cdot \tau_0, \quad 0 < z < l,$

где  $G$  – массовый расход воздуха в канале, кг/с;

$c_B$  – массовая теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·К);

$\rho_B(T_B)$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\Pi$  – периметр канала, м;

$S_B$  – площадь поперечного сечения канала для прохода воздуха, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$T_{пов}(z, \tau)$  – температура поверхности насадки, К;

$\tau_0 = \tau_{акк} + \tau_{рег}$  – длительность цикла работы регенератора, с;

$\tau_{акк}$  – длительность этапа аккумуляции, с;

$\tau_{рег}$  – длительность этапа регенерации, с;  
 $n$  – число циклов работы регенератора (при расчёте);  
 $l$  – длина насадки (канала), м.

Температурное поле насадки описывается в общем случае (когда её нельзя считать термически тонким телом), дифференциальным уравнением [2, 3, 4]

$\tau_0$  – длительность цикла работы регенератора, с;  
 $\tau_{акк}$  – длительность этапа аккумуляции;  $\tau_{рег}$  – длительность этапа регенерации;  
 $n$  – число циклов работы регенератора (при расчёте);  $l$  – длина насадки (канала), м.

Температурное поле насадки, К/с, описывается в общем случае (когда её нельзя считать термически тонким телом), дифференциальным уравнением [2, 3, 4]:

$$\frac{\partial T_H(z,x,\tau)}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 T_H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_H}{\partial z^2} \right), 0 < \tau < n \cdot \tau_0, 0 < z < l, 0 < x < \delta, \quad (2)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности материала насадки, м<sup>2</sup>/с.

Поскольку длина насадки  $l$  намного больше толщины насадки  $\delta$ , можно предположить, что выполняется соотношение

$$\frac{\partial^2 T_H}{\partial x^2} \gg \frac{\partial^2 T_H}{\partial z^2}$$

То есть, можно считать, что перетоком теплоты теплопроводностью вдоль насадки можно пренебречь. Отметим, что данный переток теплоты снижает эффективность работы регенератора [5]. Тогда уравнение (2) можно упростить

$$\frac{\partial T_H(z,x,\tau)}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T_H}{\partial x^2}, 0 < \tau < n \cdot \tau_0, 0 < z < l, 0 < x < \delta. \quad (3)$$

Хотя в уравнении (3) нет производных по  $z$ , температура насадки всё равно будет изменяться по  $z$ , так как по длине канала изменяется температура воздуха.

Температура поверхности насадки определяется выражением

$$T_{пов}(z, \tau) = T_H(z, x, \tau)|_{x=0} \quad (4)$$

На теплообменной поверхности насадки задаются граничные условия III-его рода [6, 7]

$$\frac{\partial T_H(z,x,\tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{\alpha}{\lambda_H} \cdot (T_B(z, \tau) - T_{пов}(z, \tau)), 0 < \tau < n \cdot \tau_0, 0 < z < l \quad (5)$$

где  $\lambda_H$  – теплопроводность материала насадки, Вт/(м·К).

На адиабатной поверхности насадки выполняется условие тепловой симметрии

$$\frac{\partial T_H(z,x,\tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, 0 < \tau < n \cdot \tau_0, 0 < z < l \quad (6)$$

Граничное условие для температурного поля по воздуху в период аккумуляции

$$T_H(z, \tau)|_{z=0} = T_{in}, 0 < \tau < \tau_{акк}, \tau_0 < \tau < \tau_0 + \tau_{акк} \dots, (n-1)\tau_0 < \tau < (n-1)\tau_0 + \tau_{акк} \quad (7)$$

где  $T_{in}$  – температура внутреннего воздуха в помещении, К.

Граничное условие для температурного поля по воздуху в период регенерации

$$T_H(z, \tau)|_{z=l} = T_{out}, \tau_{акк} < \tau < \tau_0, \tau_0 + \tau_{акк} < \tau < 2\tau_0 \dots, (n-1)\tau_0 + \tau_{акк} < \tau < n \cdot \tau_0 \quad (8)$$

где  $T_{out}$  – температура холодного воздуха снаружи помещения, К.

Массовый расход воздуха в канале, G, кг/с, определится

$$\begin{aligned} G &= G_{акк}, 0 < \tau < \tau_{акк}, \tau_0 < \tau < \tau_0 + \tau_{акк} \dots, (n-1)\tau_0 < \tau < (n-1)\tau_0 + \tau_{акк}; \\ G &= -G_{рег}, \tau_{акк} < \tau < \tau_0, \tau_0 + \tau_{акк} < \tau < 2\tau_0 \dots, (n-1)\tau_0 + \tau_{акк} < \tau < n \cdot \tau_0 \end{aligned} \quad (9)$$

где  $G_{акк}$ ,  $G_{рег}$  – массовые расходы воздуха, кг/с, в периоды аккумуляции и регенерации.

Таким образом, уравнения (1) и (3) с учетом уравнений (4) - (9) представляют собой математическую модель теплообмена в единичном эквивалентном канале регенеративной насадки СРТ. Однако решение такой задачи является весьма сложным, поэтому целесообразно математическую модель (1), (3) - (9) упростить. Для упрощения выясним, можно ли стенки каналов насадки считать термически тонким телом, что может позволить пренебречь теплопроводностью по  $x$ , а для этого необходимо определить коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ .

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), входящий в уравнения (1) и (5), определяется из критериального уравнения. Он в основном зависит от теплофизических параметров воздуха

при температуре  $T_B(z, \tau)$ , от геометрии канала, а также от скорости воздуха в канале.

Из работ [8, 1] известно, что режим течения воздуха в единичном канале насадки СРТ ламинарный. Это можно подтвердить, определив число Рейнольдса:

Эквивалентный диаметр канала в пределах:

$$d = 0,0016 \div 0,0058 \text{ м}; \quad (10)$$

Средняя по сечению скорость движения воздуха в единичном канале насадки  $w = 0,6 \text{ м/с}$ .

Тогда число Рейнольдса лежит в пределах  $Re = 65,5 \div 237,6$ , при этом число Пекле  $Pe = Re \cdot Pr = 46,5 \div 168,7$  (где  $Pr \cong 0,71$  – число Прандтля для воздуха).

Коэффициент теплоотдачи определяется по значению числа Нуссельта

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_B}{d} \quad (11)$$

где  $\lambda_B$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К).

Необходимо учитывать влияние начального участка тепловой стабилизации потока на теплоотдачу [9]. Тепловая стабилизация потока наступает на расстоянии от входа в трубу  $z \geq l_{н.т} = 0,07 \cdot Re \cdot d = 0,0052 \div 0,0685 \text{ м} = 5,2 \div 68,5 \text{ мм}$  ( $l_{н.т}$  – длина начального теплового участка). Видно, что при  $d = 0,0058 \text{ м}$  величина  $l_{н.т}$  значительна. Данные по геометрическим характеристикам единичного канала насадки приведены в таблице 1.

На участке  $0 < z < l_{н.т}$  число Нуссельта ( $Nu$ ) резко снижается, а при  $z > l_{н.т}$  число  $Nu = \text{const}$ . Известно, что по длине канала температура воздуха изменяется примерно линейно, это соответствует условиям  $q_c = \text{const}$  ( $q_c$  – плотность теплового потока на стенке канала). В этом случае на участке тепловой стабилизации (при  $z > l_{н.т}$ ) число Нуссельта согласно [10] составит

$$Nu = \frac{q_c \cdot d}{(T_{пов} - \bar{T}) \cdot \lambda_B} = \frac{1}{\Theta_{пов} - \bar{\Theta}} = \frac{48}{11} = 4,36 \quad (12)$$

где  $T_{пов}$  – температура стенки канала, К;

$\bar{T}$  – среднемассовая температура воздуха, К;

$\Theta_{пов}$  – безразмерная температура стенки канала;

$\bar{\Theta}$  – безразмерная среднемассовая температура воздуха.

Таблица 1 – Геометрические характеристики единичного канала насадки

Общий диаметр насадки, D, м	Эквивалентный диаметр, d, м	Количество каналов, N, шт.	Размер канала, м		Большая диагональ, h <sub>1</sub> , м	Меньшая диагональ, h <sub>2</sub> , м	Площадь канала, S <sub>B</sub> , м <sup>2</sup>	Площадь насадки, S <sub>H</sub> , м <sup>2</sup>	Периметр, П, м
			A	B					
0,2	0,0016	3490	0,003	0,002	0,004	0,002	0,0000040	0,0000040	0,01
0,2	0,0040	1050	0,006	0,004	0,009	0,005	0,000020	0,000009	0,02
0,2	0,0058	560	0,009	0,006	0,0135	0,0072	0,0000432	0,000013	0,03

На участке  $0 < z < l_{н.т}$  число Нуссельта можно рассчитать по формуле [95]

$$Nu^{-1} = \frac{11}{48} + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \psi_m \cdot \exp\left(-2\varepsilon_m^2 \frac{1}{Pe} \cdot \frac{z}{d}\right) \quad (13)$$

где  $A_m, \psi_m, \varepsilon_m^2$  – постоянные, зависящие от  $m=1, 2, 3, \dots$  [10].

Бесконечный ряд в формуле (13) довольно быстро сходится, поэтому при расчете достаточно использовать несколько первых членов ряда. По определенным таким образом значениям числа Нуссельта построены зависимости коэффициента теплоотдачи от длины канала при различных характерных скоростях движения воздуха (рисунки 3,4).

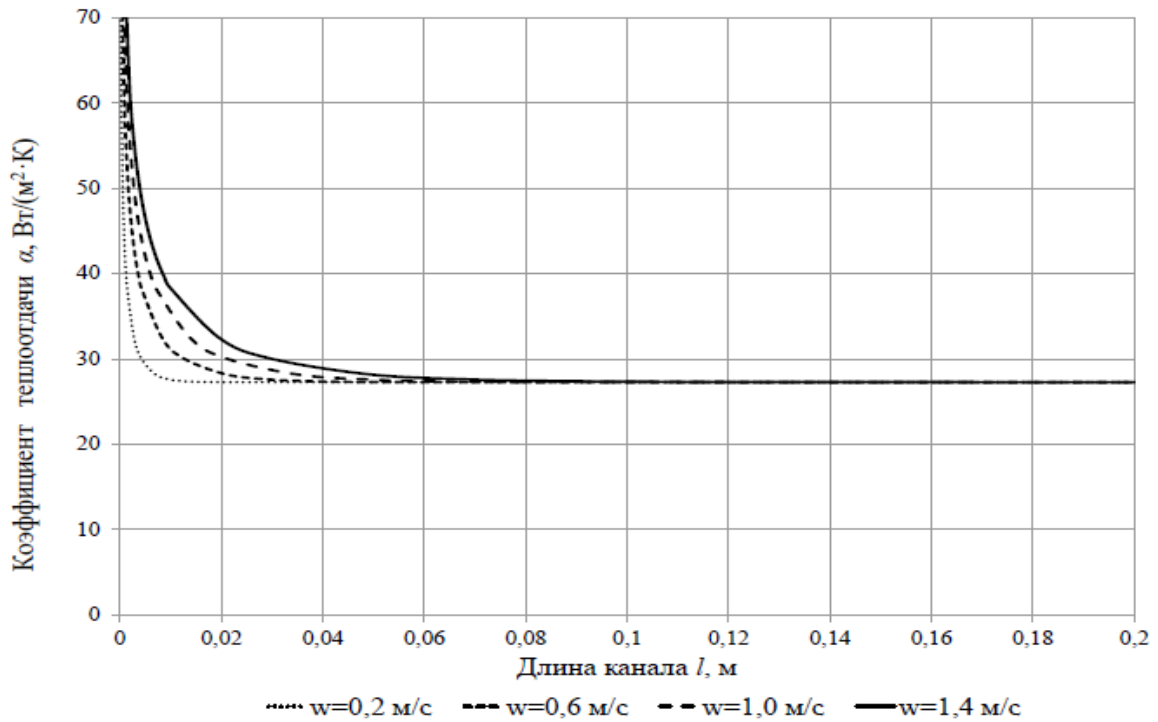


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от длины канала при различных характерных скоростях движения воздуха для  $d = 0,004$  м

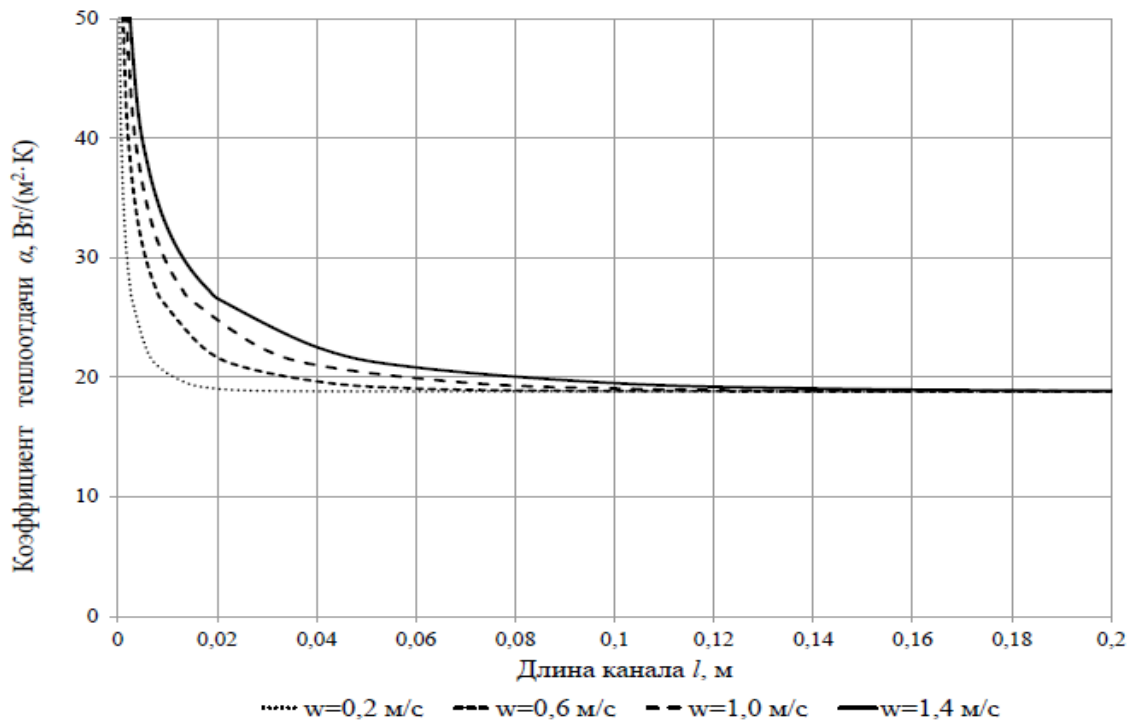


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от длины канала при различных характерных скоростях движения воздуха для  $d = 0,0058$  м

По рисункам видно, что при диаметре  $d = 0,004$  м коэффициент теплоотдачи выходит на постоянное значение, начиная с  $l \approx 0,08$  м, при диаметре  $d = 0,0058$  м – начиная с  $l \approx 0,14$  м.

В приведенной модели принято, что коэффициент теплопроводности воздуха  $\lambda_{в(Тв)}$  линейно зависит от температуры в диапазоне от  $-40$  до  $30$  °С согласно графику, построенному

по табличным данным и приведенному на рисунке 5.

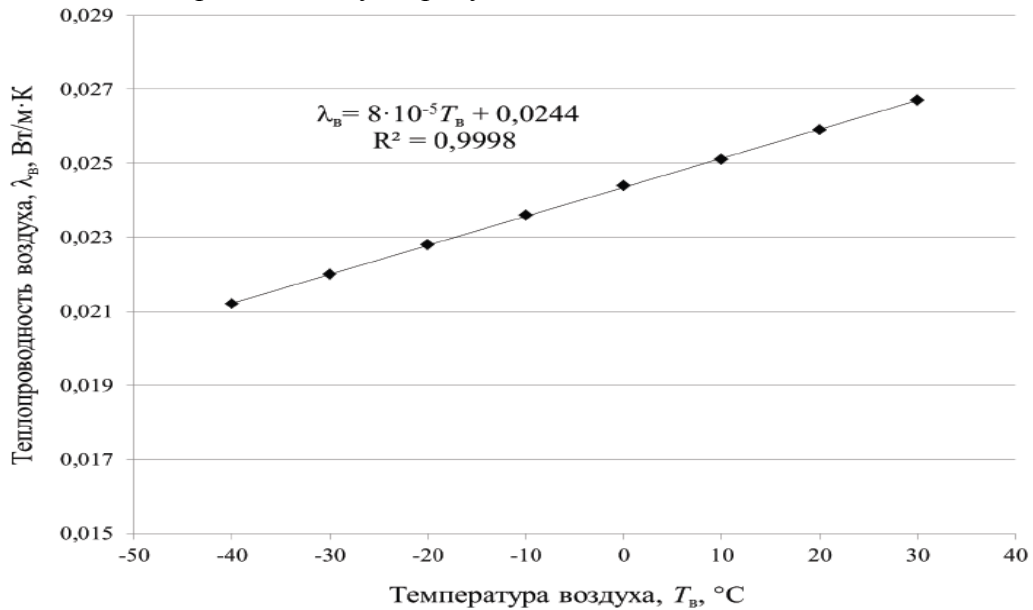


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от его температуры

Необходимо отметить, что при характерных для СРТ размерах единичного канала и температурного напора между поверхностью канала и проходящим воздухом число Релея  $Ra \ll 8 \cdot 10^5$ , поэтому свободная конвекция не влияет на теплоотдачу, и число  $Ra$  не должно учитываться в расчете. Кроме того, при установившемся режиме работы регенератора по длине канала более точно выполняется условие  $q_c = \text{const}$ , то есть плотность теплового потока от воздуха к стенке канала остается примерно постоянной, и коэффициент теплоотдачи получается примерно на 20 % выше, чем при условии  $T_{\text{пов}} = \text{const}$ , как это принято в работе Васильева В.А. [1].

Таким образом, определена математическая модель процесса теплообмена между воздухом и регенеративной насадкой СРТ, позволяющая определять изменение температуры воздуха и насадки во времени и пространстве в зависимости от температуры внутренней и наружной среды, геометрии канала насадки, расхода и физических свойств воздуха (теплоносителя), физических свойств материала насадки, режимных параметров СРТ. При этом использована методика определения коэффициента теплоотдачи между воздухом и насадкой наиболее полно отражающая специфику теплообменных процессов в СРТ.

### Список литературы

1. Васильев, В.А. Методы расчета тепловых процессов в стационарном переключающемся регенеративном теплоутилизаторе : дис. канд. техн. наук: 05.04.03 / Васильев Владимир Анатольевич. – Санкт-Петербург. 2010. – 136 с.
2. Жукаускас, А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас – М.: Наука, 1982. – 472 с.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача: учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
4. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление / С.С. Кутателадзе – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
5. Кэйс, В.М. Компактные теплообменники / В.М. Кэйс, А.Л. Лондон; пер. с англ. В.Я. Сидоровой; под ред. Ю.В. Петровского – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1967. – 223 с.

6. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Издательство «Высшая школа», 1967. – 600 с.
7. Фарлоу, С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров; пер. с англ. А.И. Плиса, под редакцией С.И. Похожаева / С. Фарлоу – М.: «Мир», 1985. – 384 с.
8. Алешин, А.Е. Моделирование процессов теплопереноса в регенеративных теплообменниках систем кондиционирования : дис. ... канд. техн. наук: 05.04.03 / Алешин Алексей Евгеньевич. – Санкт-Петербург. 2016. – 119с.
9. Кирсанов, Ю.А. Влияние нестационарности на теплоотдачу в регенеративном воздухоподогревателе // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2003. – № 1. – С. 31-34.
10. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562с., ил.



**УДК 629.3.03-06**

**Горожанкин Сергей Андреевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры автомобильного транспорта,  
сервиса и эксплуатации;  
**Олексенко Артур Александрович,**  
магистрант гр.ААХм-24а;  
**Раздин Егор Викторович,**  
магистрант гр.ААХм-24б,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ САЛОНА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ**

*В статье рассмотрено исследование одной из схем систем отопления салона легкового автомобиля с гибридной силовой установкой, включающей двигатель внутреннего сгорания, работающий с перерасширением. Для целей отопления салона используется дополнительный электрогенератор, приводимый во вращение турбиной, работающей на выхлопных газах ДВС. Электрическая энергия, вырабатываемая этим генератором, используется для отопления салона с помощью резистивных электронагревателей, а ее избыток – для подзарядки аккумуляторов, питающих тяговые электродвигатели автомобиля.*

*Ключевые слова: автомобиль, система отопления салона, гибридная силовая установка, двигатель внутреннего сгорания, цикл аткинсона, электродвигатель, газовая турбина, электрогенератор*

Эксплуатация электромобилей, а также автомобилей с гибридными силовыми установками сопряжена со значительными проблемами отопления салона. Для электромобилей она может быть решена лишь за счет применения либо традиционных электронагревателей (резистивных), либо путем использования теплового насоса. И в том, и в другом случае это сопряжено со значительными затратами электрической энергии, которая может быть получена лишь от основного аккумулятора, предназначенного для питания тяговых электродвигателей. Тепловой насос компрессионного типа [1] позволяет существенно снизить потребление электроэнергии на отопление салона в 2.5...3 раза вследствие сравнительно высоких значений его отопительного коэффициента. В то же время его работа сопряжена со значительными затруднениями при температурах наружного воздуха ниже -10<sup>0</sup>С. Тепловой насос воздух/воздух в этом случае малоэффективен для отопления во многих регионах Российской Федерации. Причиной является значительное обмерзание испарителя и необходимость частого оттаивания, что приводит к снижению его эффективности. Известные в настоящее время подобные системы эффективно функционируют при температурах наружного воздуха до -10<sup>0</sup>С. Предполагается в дальнейшем снижение этого порога до -20<sup>0</sup>С. Тем не менее, для полных электромобилей уменьшение запаса хода может достигать 40% при отрицательных температурах воздуха,

Для гибридных, как и для полных электромобилей необходимым условием работы является поддержание теплового режима высоковольтных аккумуляторов, поэтому теплота, выделяющаяся при их работе, может быть частично использована для обогрева салона путем

включения ее в систему того же теплового насоса. Но это не снимает проблему, поскольку единственным источником энергии остается аккумуляторная батарея.

Применение спиральных электронагревателей требует значительных расходов электроэнергии. Так, например, для широко известных электромобилей Tesla на отопление салона путём нагрева с помощью резистивных нагревателей требуется электрическая мощность от 2 до 7 кВт в зависимости от температуры наружного воздуха. В [2] приведены основные характеристики электрических отопителей салона для легковых электромобилей.

В ряде публикаций приводятся рекомендации по применению в электромобилях дополнительных воздухоподогревателей, работающих на сжигаемом дизельном топливе [3]. К сожалению, это приводит к снижению одного из основных достоинств такого автомобиля – минимальному числу вредных выбросов, не учитывая загромождения электромобиля совершенно «инородным» воздухоподогревателем с его системами хранения и подвода топлива, воздуха для его сжигания, отвода продуктов сгорания и др.

Для автомобилей с гибридными силовыми установками (гибридных электромобилей в соответствии с их определением по ГОСТ Р 59890—2021), содержащими какой-либо тепловой двигатель (ДВС, ГТД, паровой и др.) задача отопления салона несколько упрощается, поскольку у них имеет место отвод теплоты от этого двигателя и, соответственно, возможность использования отводимой теплоты, как это существует в традиционных конструкциях. Поэтому применение дополнительных воздухонагревателей, использующих теплоту сжигаемого органического топлива, для легковых автомобилей категории М<sub>1</sub> едва ли целесообразно.

В таких автомобилях по аналогии с электромобилями возможен отбор вторичной теплоты, отбираемой от электродвигателя, преобразователя и аккумулятора. Но, по мере совершенствования этих устройств и повышения их КПД доля этой теплоты снижается. Помимо этого следует учитывать, что для прогрева салона холодного автомобиля в зимнее время мощность отопления увеличивается до 5-7 кВт, а вышеупомянутая вторичная теплота с мощностью 1-2 кВт может быть практически использована лишь при прогретых элементах электрооборудования.

Для загородных режимов движения таких автомобилей характерна длительная работа ДВС, что позволяет применить традиционную систему отопления салона, использующую теплоту жидкости из системы охлаждения двигателя. Однако, при движении в городском цикле с частыми отключениями ДВС, что наблюдается при достаточном уровне зарядки аккумулятора и движении автомобиля от электродвигателя, эффективность такой системы отопления резко ухудшается. Причиной этого являются не только частые отключения ДВС, сопровождающиеся снижением температуры охлаждающей жидкости, но и тепловая инерционность системы. Помимо этого при движении автомобиля с малой скоростью, в «пробках» зачастую ДВС вообще не включается, что вызывает необходимость использования электрических нагревателей и вентиляторов. Таким образом, в данном случае расход электрической энергии от аккумулятора резко возрастает.

Отсюда следует, что для гибридных электромобилей необходима существенная подзарядка аккумуляторов, поскольку тепловая мощность систем отопления салона составляет от 2 до 5 кВт (в зависимости от конструкции и размеров автомобиля и температуры наружного воздуха). И решение этой задачи требует поиска дополнительных источников энергии, позволяющих компенсировать дефицит тепловой мощности системы отопления.

В современных автомобилях с гибридными силовыми установками все шире применяют двигатели, работающие по циклу Аткинсона, которые часто называют двигателями с

перерасширением. Примером могут служить ДВС, устанавливаемые на автомобилях Lexus, Toyota Prius и др. Основное достоинство таких двигателей – сравнительно низкий расход топлива на основном рабочем режиме – зарядки аккумулятора. Для такого режима характерна сравнительно невысокая тепловая мощность системы отвода теплоты, которая может быть явно недостаточной для обеспечения полноценной работы системы отопления салона. Это проявляется также ввиду вышеупомянутых отключений ДВС в городском цикле движения.

В данной работе предлагается для компенсации дефицита тепловой мощности системы отопления салона такого автомобиля установка дополнительной турбины, которая работает за счет энергии выпускных газов ДВС. Такие турбины применяются в турбокомпаундных ДВС (пример – автомобильные дизели Scania). Они передают дополнительную энергию на коленчатый вал ДВС через сложную и дорогостоящую трансмиссию, что дает возможность снизить путевой расход топлива на 3-5%. В данном случае предлагается установка дополнительной турбины сравнительно небольшой мощности, на валу которой установлен генератор переменного тока. Он позволит вырабатывать электроэнергию при периодических включениях ДВС независимо от температуры жидкости в системе охлаждения. Эта энергия после преобразования передается в высоковольтный аккумулятор автомобиля.

В таблице представлены некоторые параметры двигателей внутреннего сгорания фирмы Toyota, устанавливаемые на гибридных электромобилях. Там же приведены полученные в результате расчетов значения эффективной мощности дополнительной турбины, работающей за счет энергии выпускных газов при степенях сжатия 10 и степенях расширения 12. Степень расширения в данном случае несколько уменьшена в сравнении с геометрической степенью с целью увеличения мощности турбины. Это, сравнительно несложным путем, обеспечивается увеличением угла опережения открытия выпускных клапанов двигателя с помощью электронного блока управления при установке в нем соответствующей программы. В наиболее современных моделях ДВС гибридных электромобилей устанавливаются механизмы изменения фаз газораспределения.

Тепловой расчет двигателей внутреннего сгорания, работающих по циклу Аткинсона, а также газодинамические расчеты параметров таких турбин выполнены для вариантов со степенями сжатия от 9 до 11 и степенями расширения до 14 при коэффициентах избытка воздуха от 1 до 1.2. Определено, что мощность такой дополнительной турбины может достигать 4.1 кВт для модели 2ZR-FXE и 6.7 кВт для двигателя 2GR-FXE.

Модель ДВС	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Геометрическая степень сжатия	Расчетная мощность компаундной турбины, кВт
1NZ-FXE	до 57	3600-4200	13.5	2.2 – 3.5
2ZR-FXE	72	3600-4200	13	2.2 – 4.1
2GR-FXE	183-265	6000-6600	10.8-13	5.2 – 6.7

Полученные величины являются весьма оптимистичными, поскольку указанные значения мощности такой дополнительной турбины вполне достаточны для компенсации электрической энергии, затрачиваемой на отопление салона легкового автомобиля. Указанная мощность турбины для таких двигателей может быть, при необходимости, повышена снижением степени расширения в рабочем цикле путем изменения фазы открытия выпускных клапанов (увеличением опережения угла открытия) с помощью электронного блока управления двигателем. В этом случае несколько возрастает давление отработавших газов

перед турбиной и, соответственно, ее удельная работа. При этом происходит незначительное снижение КПД ДВС, но зато увеличивается мощность, отдаваемая дополнительным электрогенератором, установленном на валу турбины, причем ее значение, как показывают расчеты, может быть доведено до 9 кВт.

Отопление салона в этом случае можно осуществлять как резистивными, так и инфракрасными электронагревателями. Важным является тот факт, что энергетическая компенсация затрат электроэнергии на отопление осуществляется практически сразу же после запуска ДВС независимо от температуры окружающего воздуха и температуры в салоне. После первоначального прогрева салона мощность обогревательных приборов регулируется системой климат-контроля. Избыточная электрическая мощность дополнительного генератора может быть использована для зарядки высоковольтного аккумулятора.

При неработающей системе отопления указанный электрогенератор может быть отключен путем перепуска отработавших газов через обходной трубопровод турбины. Это позволяет снизить противодавление в выпускном трубопроводе ДВС и, таким образом, увеличить степень расширения его рабочего цикла (при соответствующем изменении углов фаз газораспределения выпускных клапанов с помощью блока регулирования режимов двигателя). В этом случае становится возможной работа ДВС с максимальной экономичностью в соответствии с параметрами, предусмотренными изготовителем.

### **Список литературы**

1. Матюхин, Л.М. Теплотехнические устройства автомобилей: учеб. пособие/ Л.М. Матюхин, – М.: МАДИ, 2009. – 89 с.
2. Ночевкин Е.О., Сидоров К.М. Реализация высоковольтных систем отопления салона современных электромобилей. - Электронный научный журнал «Автомобиль. Дорога. Инфраструктура», 2019, № 2(20).
3. 6 лучших подогревателей салона: <https://markakachestva.ru/rating-of/7849-luchshie-podogrevateli-salona-rejting.html>.
4. Характеристики двигателя Тойота 2GR: <http://wikimotors.ru/2gr/>
5. Двигатели Toyota Prius, Prius a, Prius C, Prius PHV, Prius Prime, Prius v: <https://motorist.expert/katalog-po-modelyam/dvigateli-toyota-prius-prius-a-prius-c-prius-phv-prius-prime-prius-v.html>.

УДК 621.577.42

**Монах Светлана Игоревна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТТГВ;

**Семенов Геннадий Сергеевич,**  
магистрант гр.ТГВм-53, кафедры ТТГВ;

**Лихтин Станислав Владимирович,**  
магистрант гр.ТГВм-53, кафедры ТТГВ,  
**ФГБОУ ВО «ДОННАСА»**

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ И УСТРОЙСТВА ПО УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В КАНАЛЕ ТЕПЛОТРАССЫ**

*Статья рассматривает решение задачи определения математической модели процессов теплообмена для следующих вариантов конструктивного исполнения тепловой сети: без дополнительных элементов; с теплоотражающим экраном; с теплоотражающим экраном и коллектором устройства по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы. Предложенная в работе математическая модель процессов конвективного и радиационно-конвективного теплообмена, подчиненная сформулированным граничным условиям, может быть использована для численных исследований теплообмена при совместной работе тепловой сети и устройства по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы. Численные исследования сложного сопряженного радиационно-конвективного теплообмена в элементах тепловой сети могут быть реализованы с помощью программно-вычислительного комплекса Comsol Multiphysics. Пакет прикладных программ Comsol Multiphysics позволяет получать совместные решения связанных задач радиационного и конвективного теплообмена в единой среде.*

*Ключевые слова: математическое моделирование, тепловой режим, тепловая сеть, канал теплотрассы, радиационный теплообмен, конвективный теплообмен, сопряженный сложный теплообмен, граничные условия, утилизации тепловых потерь, численные исследования, пакет прикладных программ.*

Прогнозирование изменений в тепловом режиме работы сетей теплоснабжения от проведения энергосберегающих мероприятий путем численного моделирования необходимо проводить на основе математического моделирования совместной работы тепловой сети и устройства по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы. Для этого в данной работе решены следующие задачи: составлена система дифференциальных уравнений, описывающих процесс теплообмена в тепловой сети и описаны граничные условия.

Численные исследования позволят оценить влияние работы устройства по утилизации тепла на тепловую сеть в условиях, соответствующих условиям реальной эксплуатации и, как следствие, решить вопрос о размещении элементов этого устройства и определить их геометрические размеры.

В настоящей работе производится построение математических моделей процессов теплообмена для следующих вариантов конструктивного исполнения тепловой сети:

- без дополнительных элементов;
- с теплоотражающим экраном;
- с теплоотражающим экраном и коллектором устройства по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы.

Объектом исследования является тепловая сеть с подземной канальной прокладкой трубопровода в непроходном канале в однострубно и двухтрубно исполнении. Рассматривается один из наиболее типичных и распространенных диаметров трубопроводов равный 200 мм. Выбор такого диаметра обусловлен тем, что диапазон диаметров до 200 мм по своей протяженности является доминирующим в Российской Федерации [1]. Изоляция трубопровода выполнена из пенополиуретана и минеральной ваты. Толщина изоляции принята в соответствии с [2]. Глубина залегания трубопровода равна 1,6 м. Канал железобетонный лоткового типа.

Вопросам математического описания процессов теплообмена в тепловых сетях посвящены работы Половникова В.Ю. [3, 4], Кузнецова Г.В. [5] Тарасевича Е.И. [6], Селезнева В.Е., Алешина В.В., Прялова С.Н. [7]. Данные исследования проводились с целью анализа штатного и аварийного режимов работы тепловых сетей с подземной канальной прокладкой трубопроводов, но не рассматривали применение энергосберегающих технологий.

Математическое моделирование процесса переноса теплоты в рассматриваемой системе основано на решении системы дифференциальных уравнений неразрывности, движения и энергии [8, 9].

Уравнение неразрывности, являющееся законом сохранения массы в гидродинамике, в векторной форме имеет вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho u) \quad (1)$$

где  $\nabla$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$t$  – время, с;

$u$  – вектор скорости движения жидкости, м/с.

Уравнение движения, являющееся законом сохранения количества движения, в векторной форме имеет вид

$$\rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u[-pI + \tau] + F \quad (2)$$

где  $\nabla$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$u$  – вектор скорости движения жидкости, м/с;

$p$  – давление жидкости, Па;

$F$  – вектор объемной силы, Н/м<sup>3</sup>;

$I$  – единичный тензор;

$t$  – время, с;

$\tau$  – тензор вязких напряжений, Па. Определяется по уравнению

$$\tau = 2\mu S - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot u)I, \quad (3)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость, Па·с;

$S$  – тензор скоростей деформации, 1/с. Определяется по уравнению

$$S = \frac{1}{2} (\nabla u + (\nabla u)T). \quad (4)$$

Уравнение энергии, являющееся законом сохранения энергии, в векторной форме имеет вид

$$\rho \cdot C_p \cdot \left( \frac{\partial T}{\partial t} + (u \cdot \nabla)T \right) + \nabla \cdot q = \tau : S - \frac{T}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \left( \frac{\partial p}{\partial t} + u \cdot \nabla \right) \cdot p + Q \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$T$  – абсолютная температура, К;

$t$  – время, с;

$u$  – скорость движения жидкости, м/с;

$q$  – тепловой поток теплопроводностью, м/с<sup>2</sup>;

$\tau$  – тензор вязких напряжений, Па;

$S$  – тензор скоростей деформации, 1/с;

$Q$  – источник тепловой энергии, кроме вязкой диссипации, Вт/м<sup>3</sup>.

При составлении системы дифференциальных уравнений, описывающих теплообмен в рассматриваемой системе, были приняты следующие допущения:

□□ температура воздуха в канале и в элементах исследуемой системы по длине теплотрассы постоянна;

- температура теплоносителя в трубе постоянна;

- осевое течение воздуха в канале вдоль теплопровода отсутствует;

- скорость воздуха на поверхности трубопроводов и коллектора равна нулю;

- вязкость и средняя удельная теплоемкость воздуха не зависят от температуры;

- теплофизические свойства материалов изоляции не зависят от влажности.

- окружающая среда, в виде грунта является однородной и имеет постоянные теплофизические свойства;

- воздух в канале является несжимаемым и прозрачным;

- степень черноты поверхностей не зависит от температуры;

- степень черноты и поглощательная способность не зависят от длины волны;

- термическое сопротивление наружной оболочки тепловой изоляции пренебрежимо мало.

Необходимо отметить, что при естественной конвекции, наблюдаемой в воздушной среде канала теплотрассы, основная движущая сила обусловлена наличием поля температур, приводящим к изменению плотности воздуха, что влечет за собой появление выталкивающей силы. При этом поле температур связано с течением жидкости, поэтому уравнения движения, энергии и неразрывности связаны между собой через изменение плотности и, соответственно, решать эти уравнения необходимо совместно [10]. Это усложняет исследование и значительно увеличивает трудоемкость дальнейших численных расчетов. В связи с этим обстоятельством при изучении естественной конвекции прибегают к различным допущениям, упрощающим дальнейшие расчеты, не приводящие к значимым искажениям в понимании физики процесса. В работе [11] говорится о том, что если скорость движения жидкости мала по сравнению со скоростью звука, то возникающие в результате движения жидкости изменения давления настолько малы, что вызываемые ими изменения плотности пренебрежимо малы. Кроме того, чтобы в уравнениях движения неравномерно нагретой жидкости условно можно было считать плотность постоянной, необходимо, чтобы имеющиеся в жидкости разности температур были достаточно малы. В этом случае речь идет об абсолютных значениях разностей температур, а не о градиенте температуры.

В данной работе разности температур воздуха в канале являются малыми, поэтому воздух принят несжимаемым. Это упрощает основные уравнения естественной конвекции. Однако изменение плотности в уравнениях необходимо учесть. Для этого в работе принято допущение Буссинеска, согласно которому, разность плотностей, вызывающую возникновение течения в результате взаимодействия между гравитационной объемной силой и градиентом гидростатического давления, можно приближенно представить как влияние одной лишь температуры, описываемое уравнением (6), а в уравнении неразрывности изменением плотности можно пренебречь. Т.е. в условиях решаемой задачи несжимаемой жидкости переменность плотности учитывается только при вычислении объемной силы [10]. Таким образом, разность плотностей можно представить в виде

$$\rho_a - \rho = \rho \cdot \beta \cdot (t - t_a), \quad (6)$$

где  $\rho_a, t_a$  – плотность и температура жидкости в равновесном состоянии;

$\rho, t$  – плотность и температура жидкости;  
 $\beta$  – коэффициент объемного расширения жидкости, 1/К.  
 Объемная сила равна

$$G = \rho g \beta (t - t_a), \quad (7)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

С учетом принятых допущений задача сводится к двумерной. Основные определяющие уравнения для нахождения полей скорости и температуры в процессе теплообмена в прямоугольной декартовой системе координат с учетом принятых допущений приведены ниже.

Поле скоростей в воздушном пространстве канала теплотрассы определяется системой уравнений движения (8, 9) и неразрывности (10).

$$\rho \cdot \left( u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

$$\rho \cdot \left( u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) - g \rho \cdot \beta \cdot (t - t_a) \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$u$  – скорость движения жидкости, м/с.

$p$  – давление жидкости, Па;

$\mu$  – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

$$\rho \cdot \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) = 0 \quad (10)$$

Температурное поле в воздушном пространстве канала теплотрассы определяется решением уравнения энергии для жидкости

$$\rho \cdot C_p \cdot \left( u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (11)$$

где  $C_p$  – средняя удельная изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·К).

Температурное поле в воздушном пространстве канала теплотрассы определяется решением уравнения энергии для твердого тела

$$\lambda_w \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (12)$$

где  $\lambda_w$  – коэффициент теплопроводности твердого тела, Вт/(м·К).

Математические модели процессов теплообмена в описанных ранее вариантах тепловой сети имеют в своей основе идентичные уравнения движения (8), (9), неразрывности (10) и переноса энергии (11), (12), но разный набор элементов с соответствующими граничными условиями.

В состав тепловой сети без дополнительных элементов входит трубопровод и канал. Тепловая сеть с теплоотражающим экраном состоит из трубопровода, теплоотражающего экрана и канала. Тепловая сеть с теплоотражающим экраном и коллектором устройства включает в себя трубопровод, теплоотражающий экран, канал и коллектор.

Зададим граничные условия (Г) для системы уравнений (8) – (12) на границах канала теплотрассы (рисунок 1) с координатами  $x = 0, y = 0, x = A, y = B$ .

Ниже приведен перечень граничных условий для всех исследуемых моделей:

Г1 – граничное условие III-го рода, описывающее теплообмен на внутренней поверхности трубопроводов, через которую подводится теплота;

Г2 – граничное условие III-го рода, описывающее теплообмен на поверхности изолированного трубопровода;



Г3 – граничное условие III-го рода, описывающее теплообмен на поверхности теплоотражающего экрана;

Г4 – граничное условие III-го рода, описывающее теплообмен на внутренней поверхности канала;

Г5 – граничное условие IV-го рода, описывающее теплообмен на границе контакта внешней стороны канала с прилегающим грунтом;

Г6 – граничное условие III-го рода, описывающее теплообмен на внешней поверхности коллектора;

Г7 – граничное условие III-го рода, описывающее теплообмен у внутренней поверхности коллектора, через которую отводится теплота.

Таким образом, первая математическая модель, описывающая теплообмен в тепловой сети без дополнительных элементов (М1), дополняется граничными условиями Г1, Г2, Г4, Г5.

Вторая математическая модель, описывающая теплообмен в тепловой сети с теплоотражающим экраном (М2), дополняется граничными условиями Г1, Г2, Г3, Г4, Г5.

Третья математическая модель, описывающая теплообмен в тепловой сети при ее совместной работе с устройством по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы (М3), дополняется граничными условиями Г1, Г2, Г3, Г4, Г5, Г6, Г7.

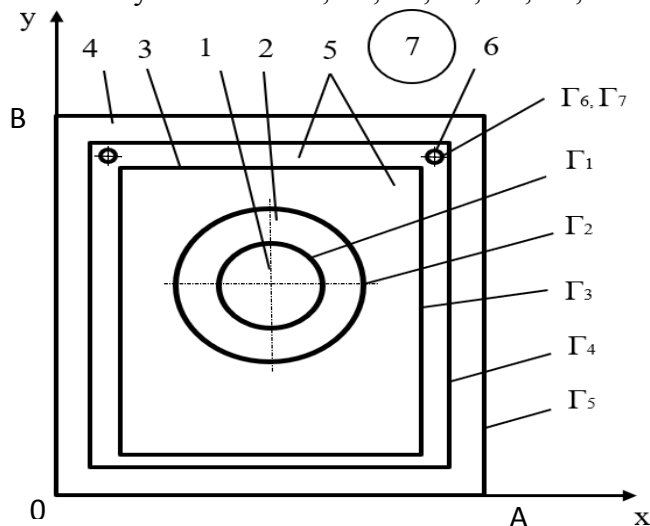


Рисунок 1 – Модель рассматриваемой системы с указанием граничных условий:

- 1 – теплоноситель; 2 – изолированный трубопровод; 3 – теплоотражающий экран;  
 4 – канал; 5 – воздух канала теплотрассы; 6 – коллектор; 7 – окружающая среда

Граничные условия III-го рода, описывающие процесс теплоотдачи на поверхности твердых тел при взаимодействии с воздухом канала теплотрассы с учетом теплообмена излучением (Г2, Г3, Г4, Г6) в общем случае имеют вид

$$-\lambda_w \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = a_w (T_w - T_{\text{возд}}) + \varepsilon_w \cdot (e_b(T) - G) \quad (13)$$

где  $T_w$  – температура стенки, К;

$T_{\text{возд}}$  – температура воздуха в канале, К.

$a_w$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху в канале, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\varepsilon_w$  – степень черноты стенки;

$e_b(T)$  – плотность потока собственного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$G$  – суммарная поверхностная плотность потока излучения, падающего на поверхность, Вт/м<sup>2</sup>.

Граничные условия III-го рода, описывающее процесс теплоотдачи на внутренней поверхности трубопроводов и коллектора (Г1, Г7) в общем случае имеют вид

$$-\lambda_w \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = \alpha_{mn} (T_w - T_{mn}) \quad (14)$$

где  $T_{mn}$  – температура теплоносителя, К;

$\alpha_{mn}$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к теплоносителю, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Граничное условие IV-го рода описывающее условие теплообмена между наружной поверхностью канала и грунтом имеют вид

$$-\lambda_{бет} \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = -\lambda_{гр} \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (15)$$

где  $\lambda_{бет}$  – коэффициент теплопроводности железобетона, Вт/(м·К);

$\lambda_{гр}$  – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·К).

Для расчета теплообмена излучением использовались следующие математические соотношения, определяющие эффективный и результирующий тепловой поток излучения с поверхности твердых тел [12]

$$J = P_d \cdot G + \varepsilon_w \cdot e_b (T) \quad (16)$$

$$q_{рез} = (1 - P_d) \cdot G - \varepsilon_w \cdot e_b (T) \quad (17)$$

где  $J$  – эффективный тепловой поток излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$P_d$  – коэффициент диффузного отражения.

Зависимость плотности потока собственного излучения абсолютно черного тела от температуры определяется по уравнению Стефана-Больцмана

$$e_b (T) = \int_0^\infty e(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (19)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

Суммарная поверхностная плотность потока излучения, падающего на поверхность равна

$$G = G_m + G_{amb} + G_{ed}, \quad (20)$$

где  $G_m$  – падающее излучение с других поверхностей системы, Вт/м<sup>2</sup>;

$G_{ed}$  – падающее излучение с внешних источников, Вт/м<sup>2</sup>;

$G_{amb}$  – плотность потока излучения окружающей среды, Вт/м<sup>2</sup>.

Все поверхности рассматриваемой системы являются диффузно серыми, то есть могут диффузно излучать и диффузно отражать падающее излучение. Интенсивность излучения таких поверхностей одинакова по всем направлениям. При этом зависимость излучательных и поглощательных свойств поверхностей от длины волны не учитывается. Это условие справедливо, поскольку в работе рассмотрен достаточно ограниченный спектральный диапазон, в пределах которого изменением коэффициентов излучения и отражения можно пренебречь.

Граничное условие диффузно-излучающей и отражающей поверхности при моделировании теплообмена излучением с поверхности на поверхность в прозрачной среде задано на наружных поверхностях трубопровода и коллектора, на внутренней поверхности канала теплотрассы, на всех поверхностях теплоотражающих экранов. При этом эффективный и результирующий тепловые потоки излучением рассчитываются по уравнениям (16) и (17). С учетом отсутствия внешних источников излучения и излучения окружающей среды данные уравнения принимают следующий вид

$$J = (1 - \varepsilon_w) \cdot G_m + \varepsilon_w e_b (T) \quad (21)$$

$$-n \cdot q_{рез} = \varepsilon_w \cdot (G_m - e_b(T)) \quad (22)$$

Предложенная математическая модель теплообмена при совместной работе тепловой сети и устройства по утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы может быть использована для численного моделирования сложного со пряженного радиационно-конвективного теплообмена в элементах тепловой сети с помощью программно-вычислительного комплекса Comsol Multiphysics. Такой выбор обусловлен одним из

преимуществ пакета прикладных программ Comsol Multiphysics, которое заключается в возможности совместного решения связанных задач радиационного и конвективного теплообмена в единой среде, а также уже известным получением достоверных результатов численных исследований работы тепловых сетей при использовании данного программного продукта другими авторами.

### **Список литературы**

1. Кириллов, Ю.И. Состояние тепловой изоляции на электростанциях ОАО РАО «ЕЭС России» / Ю.И. Кириллов, М.А. Мотлохов, А.М. Бычков [и др.] // Энер-гетик. – 2005. – № 11. – С. 2 – 5.
2. ТР 129-02 Технические рекомендации по строительству сетей тепловодо-снабжения из стальных труб со скорлупкой пенополиуретановой изоляцией в под-земных канальных и наземных прокладках. – М.: НИИМосстрой. – 2021. – 28 с.
3. Половников, В.Ю. Тепломассоперенос в тепловой изоляции и зонах раз-мещения энергосберегающих систем транспортировки и хранения энергоносителей: дис...докт. техн. наук: 01.04.14: защищена 19.02.2021 / Половников Вячеслав Юрьевич. – Томск, 2021.– 400с.
4. Половников, В.Ю. Математическое моделирование тепловых режимов си-стем транспортировки тепла / В.Ю. Половников // Современная наука: исследова-ния, идеи, результаты, технологии. – 2012. – №2. – с. 118-122
5. Кузнецов, Г.В. Численный анализ влияния радиационного теплообмена на тепловые режимы и тепловые потери теплопроводов / Кузнецов Г.В., Половников В.Ю.// Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2011. – №5-6. – с. 12-20
6. Тарасевич, Е.И. Численное моделирование теплообмена для двухтрубных тепловых сетей при подземной канальной и бесканальной прокладке / Е.И. Тарасевич // Фундаментальные исследования. – 2015. – №2-22. – с.4880-4885
7. Селезнев, В.Е. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, С.Н. Прялов; под ред. В.Е. Селезнева. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 695 с.
8. Полежаев, В.И. Математическое моделирование конвективного тепло-массообмена на основе уравнений Навье–Стокса / В.И. Полежаев, А.В. Бунэ, Н.А. Верезуб и др. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
9. Карауш, С. А. Сопряженный теплообмен при ламинарном течении жидко-сти в подземных каналах /С.А. Карауш, А.В. Фурман// Известия ВУЗов. Энергетика. – 1979. – № 9. – С. 60–66.
10. Джалурия Й. Естественная конвекция: Тепло и массообмен / Й. Джалурия. – М.: Мир, 1983. – 400с.
11. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
12. Адрианов, В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена / В.Н. Ад-рианов. – М.: Энергия, 1972. – 464 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

<b>Бельский Евгений Сергеевич, Бесараб Евгений Викторович, Максимова Наталья Анатольевна. СЕЗОННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ ХОЛОДА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ИСТОЧНИКА ХОЛОДА (СНЕГА ИЛИ ЛЬДА).....</b>	<b>3</b>
<b>Дельк Владислав Сергеевич, Емельянов Алексей Захарович, Максимова Наталья Анатольевна. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА .....</b>	<b>7</b>
<b>Закусило Сергей Анатольевич, Сааков Владислав Валентинович, Максимова Наталья Анатольевна. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ ВОЗДУХА .....</b>	<b>10</b>
<b>Письменный Лев Дмитриевич, Сергеев Тимофей Романович, Максимова Наталья Анатольевна. ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ГРУНТОВЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ.....</b>	<b>14</b>
<b>Слободянюк Яна Руслановна, Максимова Наталья Анатольевна. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕВЕРСИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ..</b>	<b>17</b>
<b>Бубельный Кирилл Эдуардович, Писаревский Константин Александрович, Колосова Нелли Вадимовна. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА В ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ.....</b>	<b>22</b>
<b>Лукьянов Александр Васильевич, Рыбак Данил Эдуардович. ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ВИДОВ И ДОЗ КОМПЛЕКСОНОВ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>26</b>
<b>Тихонов Владислав Романович, Красногрудов А.В. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КИНЕТИКИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ.....</b>	<b>30</b>
<b>Новиков Антон Эдуардович, Гусенцова Я.А. ВОЗДУХООБМЕН В ПОМЕЩЕНИЯХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ .....</b>	<b>37</b>
<b>Монах Светлана Игоревна, Сойников Николай Николаевич, Епищева Светлана Сергеевна. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ К ТЕПЛОМУ ОБОРУДОВАНИЮ .....</b>	<b>43</b>
<b>Монах Светлана Игоревна, Москалюк Наталья Александровна, Тимошенко Татьяна Николаевна. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В УТЕПЛИТЕЛЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА .....</b>	<b>53</b>
<b>Монах Светлана Игоревна, Растопчина Елена Юрьевна. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ.....</b>	<b>58</b>

<b>Монах Светлана Игоревна, Чеботаренко Алексей Вячеславович, Пищенко Екатерина Александровна. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИКОКАЛОРИЙНОГО ТОПЛИВА В КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ .....</b>	<b>64</b>
<b>Монах Светлана Игоревна, Швайдюк Дарья Игоревна, Сень Сергей Сергеевич. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СХЕМ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕПЛОТУ ГРУНТОВ ТЕРРИКОНОВ .....</b>	<b>71</b>
<b>Лукьянов Александр Васильевич, Бесараб Татьяна Юрьевна. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВУТ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ КАМЕННОМУ УГЛЮ .....</b>	<b>83</b>
<b>Мухин Андрей Александрович, Харламова Анна Эдуардовна. АНАЛИЗ СОЛЕСОДЕРЖАНИЯ ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕХНОГЕННОЙ ПЛОЩАДКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....</b>	<b>88</b>
<b>Петреков Павел Васильевич, Руколеев Андрей Владимирович, Каньшин Артем Викторович. ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.....</b>	<b>92</b>
<b>Валуев Никита Русланович, Сердюк Александр Иванович. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛА ПУТЕМ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ.....</b>	<b>95</b>
<b>Косарева Яна Владимировна, Сердюк Александр Иванович. О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ И АГРОПЕЛЛЕТ В КАЧЕСТВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БОЛЕЕ ЧИСТЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА .....</b>	<b>99</b>
<b>Иваненко Александра Геннадиевна, Березнев Андрей Александрович, Савич Дарья Владимировна. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ .....</b>	<b>102</b>
<b>Головач Юлия Александровна, Говера Тарас Владимирович, Дяченко Ольга Александровна. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ.....</b>	<b>108</b>
<b>Головач Юлия Александровна, Михайская Оксана Валентиновна, Тарасов Данил Витальевич. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА ГРС .....</b>	<b>114</b>
<b>Костенко Алексей Владимирович, Марченко Анна Александровна, Удовиченко Злата Викторовна. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА ДЕГАЗАЦИИ ШАХТ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ .....</b>	<b>118</b>
<b>Добросельский Максим Сергеевич, Звягина Виктория Сергеевна, Удовиченко Злата Викторовна. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЛАГИ В ДРОССЕЛИРУЮЩИХ ОРГАНАХ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ .....</b>	<b>124</b>
<b>Иванова Светлана Сергеевна. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ ПРИДНЕСТРОВЬЯ.....</b>	<b>130</b>

**Кибало Андрей Анатольевич, Позняков Матвей Романович, Шацков Артем Олегович.** ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ..... 133

**Шацков Роман Олегович, Шаврова Юлия Александровна, Шацков Артем Олегович.** СИСТЕМЫ ЛУЧИСТОГО ОХЛАЖДЕНИЯ..... 139

**Золотухина Наталья Викторовна.** ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ «ЗЕЛЁНЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ ..... 143

**Золотухина Наталья Викторовна, Дудник Анна Вячеславовна.** ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ – СЫРЬЕВАЯ БАЗА ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ И БЕТОНОВ ..... 152

**Золотухина Наталья Викторовна, Чудина Татьяна Васильевна.** ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ОКОННЫХ ПРОЕМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОМФОРТ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ..... 156

**Кислов Дмитрий Анатольевич, Долгов Николай Викторович.** ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ НА МИКРОКЛИМАТ..... 162

## **СЕКЦИЯ 2. ИНЖЕНЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГОРОДОВ**

**Рожков Виталий Сергеевич, Дорцева Мария Николаевна.** ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕТИЧНОГО ОТСАИВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАГЕНТОВ ..... 167

**Брыков Артём Геннадиевич, Корнышев Аркадий Феликсович, Колосова Нелли Вадимовна.** СПОСОБЫ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ..... 172

**Синежук Инна Борисовна, Иванилов Александр Викторович, Пузовский Александр Евгеньевич.** К ВОПРОСУ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМОВ И УТИЛИЗАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ..... 176

**Засько Виталий Васильевич, Сорокин Вадим Александрович.** ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОСЕТЕЙ ..... 179

**Засько Виталий Васильевич, Малыгина Оксана Александровна.** ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ..... 183

**Зайченко Людмила Геннадьевна, Донской Александр Александрович, Хохлачёв Роман Евгеньевич.** КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА В ДНР..... 189

**Зайченко Людмила Геннадьевна, Марченко Владислав Александрович, Головкин Виктор Александрович.** ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА В СТРУКТУРЕ ГУП ДНР «ВОДА ДОНБАССА»..... 192

**Григоренко Надежда Ивановна, Макаров Владислав Вадимович, Сологуб Мирон Викторович.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ УРБАНИЗАЦИИ НА КОЛИЧЕСТВО И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ..... 195

**Козлов Владимир Вадимович, Коломийцева Светлана Васильевна, Удовиченко Злата Викторовна.** ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ..... 201

**Коваленко Семён Романович, Казьмина Анастасия Владимировна, Удовиченко Злата Викторовна.** ОБОСНОВАНИЕ РАСПОЛАГАЕМОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ СО ШКАФНЫМИ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫМИ ПУНКТАМИ ..... 206

**Кекиш Сергей Евгеньевич, Проничева Юлия Александровна, Долгов Николай Викторович.** АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ ..... 210

**Захарова Ольга Олеговна, Соколов Сергей Владимирович, Долгов Николай Викторович.** АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ..... 214

**Черникова Ирина Демьяновна, Салуквадзе Георгий Владимирович, Соколов Владимир Ильич.** МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРИСОЕДИНЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА К ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ..... 217

**Балинченко Оксана Иосифовна.** ФИЛЬТРОВАНИЕ НА ВОЛОКНИСТЫХ ФИЛЬТРАХ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКА НА ЮГЕ ДНР ..... 223

#### **СЕКЦИЯ 4. НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ТГВ И БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Головач Юлия Александровна, Колотыгин Александр Сергеевич, Ермакова Елена Викторовна.** ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ..... 231

**Головач Юлия Александровна, Урванцев Владислав Владимирович, Поповиченко Владимир Андреевич.** ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ..... 236

**Сапрунова Анастасия Владимировна, Удовиченко Злата Викторовна.** ОБОСНОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ГАЗА ..... 240

#### **СЕКЦИЯ 5. ИННОВАЦИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЯХ: ОТОПЛЕНИЯ, ГАЗОСНАБЖЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

**Ратьева Анастасия Григорьевна, Капизова Альфия Манцуровна, Чернышова Анна Геннадьевна.** РАЗРАБОТКА НОВОГО СОРБЕНТА ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ..... 246

<b>Монах Светлана Игоревна, Лихтин Станислав Владимирович, Семенов Геннадий Сергеевич. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.....</b>	<b>250</b>
<b>Горожанкин Сергей Андреевич, Олексенко Артур Александрович, Раздин Егор Викторович. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ САЛОНА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ.....</b>	<b>257</b>
<b>Монах Светлана Игоревна, Семенов Геннадий Сергеевич, Лихтин Станислав Владимирович. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОЙ СЕТИ И УСТРОЙСТВА ПО УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В КАНАЛЕ ТЕПЛОТРАССЫ .....</b>	<b>261</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ.....</b>	<b>268</b>



**Научное электронное издание**  
**«ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

*Электронный сборник статей по материалам V открытой международной очно-  
заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов*

**(15 марта 2024 г., Макеевка)**

Ответственный за издание: *А. В. Лукьянов*  
e-mail: [ttgv@donnasa.ru](mailto:ttgv@donnasa.ru),  
[d.v.savich@donnasa.ru](mailto:d.v.savich@donnasa.ru)

Компьютерная вёрстка: *Д.В. Савич, Б. В.Кляус*