

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И
АРХИТЕКТУРЫ»**

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

Макеевка, 2020 г.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ
РЕСПУБЛИКИ**
**ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ»**

**I 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 I открытой
международной очно-заочной научно-практической конференции молодых
ученых и студентов*

(26 декабря 2019 г., Макеевка)

Макеевка, 2020 г.

УДК 696/697.004.163(063)

ББК 38.7-03я43

Э 65

Печатается по решению ученого совета ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», протокол № 5 от 27.01.2020 г.

Редакционная коллегия:

- | | |
|-------------------|--|
| Мущанов В. Ф. | - проректор по научной работе, д.т.н., профессор, председатель оргкомитета; |
| Лукьянов А. В. | - декан факультета инженерных и экологических систем в строительстве, д.т.н., профессор; |
| Нездойминов В. И. | - заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, д.т.н., професор; |
| Яковенко К. А. | - заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства, к.т.н., доцент; |
| Найманов А. Я | - д.т.н., профессор кафедры городского строительства и хозяйства; |
| Насонкина Н. Г. | - д.т.н., профессор кафедры городского строительства и хозяйства; |
| Удовиченко З. В. | - к.т.н., доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции; |
| Олексюк А. А. | - д.т.н., профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции; |

- Э65 Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений: электронный сборник научных трудов I открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов / Редколлегия: В. Ф. Мущанов, А. В. Лукьянов, В. И. Нездойминов и др. - Макеевка, ДонНАСА, 2020. - 198 с.

Электронный сборник содержит 43 научные работы участников I 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».

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.

© ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2020

Введение

I открытая международная очно-заочная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов приурочена к 80-ти летию выдающегося ученого – советника президента АН Высшей школы Украины, доктора технических наук, профессора **Губаря Валентина Федоровича**, который почти 30 лет руководил кафедрой теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Он родился 08.09.1939 г. в Нижнегорском районе Крыма.

В 1961 году Валентин Федорович окончил Днепропетровский металлургический институт, затем работал сталеваром на Нижнеднепровском трубопрокатном заводе, научным сотрудником, заведующим лабораторией в Донецком научно-исследовательском институте черной металлургии, старшим инженером на строительстве Исфahanского металлургического комбината (Иран). Последние 36 лет он провел на преподавательской работе в Донбасской государственной академии строительства и архитектуры, из них 29 лет в качестве заведующего кафедрой теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции.

Валентин Федорович является автором более 150 научных и учебно-методических работ, в том числе монографии «Использование природного газа в отопительных котельных», учебника «Основы теории теплообмена», двух учебных пособий, 9-ти изобретений.

Инициатор организации в академии обучения студентов по специальности «Городское строительство и хозяйство».



Губарь Валентин Федорович
(08.09.1939 – 11.01.2008)

Губарь Валентин Федорович - Лауреат республиканской премии им. Н. Островского в области науки и техники (1968 г.) и премии ГКНТ СССР (1982 г.). Награжден медалью «За трудовое отличие» (1970 г.). Почетный изобретатель СССР (1982 г.).

УДК 628.4.08

Васильева Юлия Вячеславовна,
аспирант кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов;
Ильницкий Тарас Сергеевич,
Костельник Дмитрий Олегович,
магистранты кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ОЦЕНКА ВКЛАДА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ В ПРИТОК СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА НА ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИИ

В статье рассмотрены основные источники поступления в водоемы биогенных элементов, чрезмерное количество которых ведет к эвтрофикации водных экосистем. Проведен анализ вклада синтетических моющих средств в общий приток фосфора на очистных станциях канализации. Приведен сравнительный анализ с показателями содержания фосфора в синтетических моющих средствах на Западе.

Ключевые слова: эвтрофикация, синтетические моющие средства, биогенные элементы, азот, фосфор, сточные воды

Чрезмерное поступление биогенных элементов в водные объекты в результате антропогенного воздействия человека приводит к нарушению естественного режима водоема, повышению его трофности, а также образованию вредных для здоровья соединений. Этот процесс называется эвтрофикацией. Эвтрофикация поверхностных водоемов, используемых для водоснабжения, ведет к снижению качества питьевой воды и ухудшению экологического состояния мировых экосистем. Так как основной источник питьевого водоснабжения — поверхностные источники, то это приводит к ухудшению здоровья и качества жизни населения. Причина развития эвтрофикации водоемов заключается в чрезмерном поступлении в них биогенных элементов (азота и фосфора). И если существующие и используемые сегодня технологические схемы биологической очистки с удалением азота справляются хорошо, то фосфор поступает в водоемы с очищенными сточными водами в количествах, значительно превышающие предельно допустимые концентрации [6,8]. Высокое содержание фосфатов в водных системах приводит к несбалансированному росту сине-зеленых водорослей в летний период. Они улавливают азот из атмосферного воздуха и переводят его в NH_4 , который используется для роста водорослей. Чрезмерный рост и отложение отмерших водорослей на дне водоемов приводит к снижению растворенного кислорода в воде и еще более резкому ухудшению ситуации. Так как фосфор в сточных водах практически весь находится в растворенном виде, то это создает трудности его удаления. Не смотря на существование способов доочистки стоков от соединений фосфора [15], оздание условий для его биологического или химического удаления из сточных вод связано с большими капитальными и эксплуатационными затратами, а также образованием большого количества дополнительных отходов. Ряд мировых научных исследований направлены на поиск методов и технологий, позволяющих обеспечить нормативный сброс соединений фосфора в водоемы. Одним из способов снижения количества поступающего в водоемы фосфора является сокращение количества фосфора, поступающего на очистку.

Целью проведенных исследований является определение вклада синтетических моющих средств в общий приток фосфора на очистные станции и сравнение этого значения с показателями, определенными исследователями на Западе.

В современных условиях функционирования систем водоотведения основными источниками поступления соединений фосфора на очистные станции принято считать [11,12]:

- бытовые сточные воды;
- промпредприятия, сбрасывающие стоки в городскую канализацию;
- автомойки, не имеющие замкнутого цикла водоснабжения;
- недостаточно очищенные стоки пищевых предприятий, животноводческих комплексов.

В сточных водах фосфор представлен в виде суммы органического и неорганического (минерального) фосфора [10]. Неорганический фосфор представляет собой сумму ортофосфатов (соли ортофосфорной кислоты) и полифосфатов. Ортофосфаты в воде могут присутствовать в виде различных ионов в зависимости от величины pH (H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}). Часть фосфора входит в состав органических соединений [2].

Источниками фосфора, имеющего первостепенное значение, считаются хозяйственно-бытовые сточные воды. Для данного вида сточных вод фосфор является неотъемлемой частью загрязняющих веществ. Здесь это результат жизнедеятельности человека и использования синтетических моющих средств, в составе которых содержатся полифосфаты.

Снизить количество фосфора, поступающего в результате жизнедеятельности человека не представляется возможным. Путем снижения фосфатов и полифосфатов, поступающих с бытовыми моющими средствами, на государственном уровне был избран законодательный механизм регулирования количества фосфатов в синтетических моющих средствах. Тенденция к снижению количества фосфатов в моющих средствах наблюдается во большинстве стран Европы [14,15].

Для снижения количества сбрасываемых в сточные воды соединений фосфора на законодательном уровне всех стран проводится ряд мероприятий, а именно принятие законов, предписывающих производителям стиральных порошков и моющих средств исключить фосфаты как их компонент. Большинство стран мира (Италия, Австрия, Норвегия, Голландия, Германия, США и Канада) отказались от применения в быту моющих средств на основе фосфатов. Регламентом Европарламента и Совета ЕС были установлены жесткие требования по постепенному прекращению поступления на рынок стиральных порошков с содержанием фосфора в два этапа: до 30 июня 2013 года и до 1 января 2017 года [9]. Кроме того, проект технического регламента Таможенного союза также предусматривает полное удаление фосфатов из состава синтетических моющих средств в 2020 году. В Украине также намечена тенденция к снижению фосфора в стиральных и моющих средствах. Находится на рассмотрении законопроект «О государственном регулировании в сфере моющих средств» №8138 [4] который зарегистрирован в Верховной Раде 15 марта 2018 года. Документ предусматривает, что уже с 2019 года ввозить в Украину, производить и продавать на ее территории моющие средства с долей фосфатов свыше 5% запрещено, а также содержащие хлор или хлорорганические соединения. А с 2021 года фосфатов в стиральных порошках должно остаться менее 0,2%, а анионных ПАВ — не больше 3% от массы моющего средства. Данных по Российской Федерации в законодательных актах не представлено.

Исследования, проведенные на Западе, представляют данные о качественном составе различных средств бытовой химии [7]. По данным этих исследований триполифосфат, ортофосфат и т.д. в стиральных порошках, моющих средствах и бытовой химии полностью заменен аналогами, не содержащими фосфор, за редким исключением, в количествах, не превышающих 0,1%. Исключение составляют средства для посудомоечных машин. Там содержание фосфатов может достигать 30% от общей массы.

Нами проведен ряд экспериментов, для установления соответствия этих показателей с показателями бытовых моющих средств, используемых в России. Эксперимент включал определение массовой доли орто- и полифосфатов в выборке стиральных моющих средств (в средствах для мытья посуды, в порошках и порошкообразном средстве для посудомоечных машин). Анализы были проведены с учетом рекомендаций [1,5].

Методика определения. Определение ортофосфатов осуществляется по реакции с молибдатом аммония и аскорбиновой кислотой с образованием молибденовой сини в

исходной пробе. На фотоэлектрокалориметре снимаются показания оптической плотности раствора (D) и определяется концентрация присутствующих ортофосфатов (C_1).

Для определения концентрации полифосфатов (C_2) пробу предварительно подвергают кислому гидролизу (кипячение пробы с раствором серной кислоты в течении получаса). Это необходимо для перевода полифосфатов в ортофосфаты. [5,10]. Затем повторяются измерения ортофосфатов. Концентрацию полифосфатов вычисляют как разницу между концентрациями ортофосфатов гидролизованной и исходной проб. Массовая доля фосфатов определяется согласно [3].

Результаты исследований. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Сравнение массовых долей фосфатов в различных бытовых моющих средствах

Наименование моющего средства	Массовая доля PO_4^{3-}		Массовая доля P_2O_5	
	Собственные исслед.	Данные [4]	Собственные исслед.	Данные [4]
1. «SanDay» (стиральный порошок)	<0,001%	0	<0,001%	0
2. «Persil» (стиральный порошок)	<0,001%	0	<0,001%	0
3. Somat (средство для посудомоек)	1%	0	27%	<35%
4. Finish (средство для посудомоек)	0,94%	0	24,48%	<35%
5. «Ariel» жидкое средство для стирки	0	0	0	0
6. «Золушка» (средство для чистки ковров)	0,006%	0	0,58%	7,5%
7. «Fairy» (средство для мытья посуды)	0	0	0	0
8. «Капля» (средство для мытья посуды)	0	0	0	0

Вывод. Вклад синтетических моющих средств в поступление фосфора на очистные станции уменьшается в связи с усовершенствованием технологий производства моющих средств. В связи с наблюдаемой тенденцией снижения количества фосфатов от бытовых моющих средств, можно сделать вывод, что данный источник загрязнения не является определяющим. К подобным выводам пришли и исследователи других стран [16].

Список литературы

1. Галанцева Л.Ф. О некоторых недостатках в анализе сточных вод на фосфаты / Л.Ф. Галанцева, С.В. Фридланд // Вестник Казанского технологического университета, 2011г. – С. 204–206.
2. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод: Монография. – М.: МГСУ, 2010. – 120 с.
3. ГОСТ 22567.7-87 Средства моющие синтетические. Метод определения массовой доли фосфорнокислых солей.
4. Закон України «Про державне регулювання у сфері мийних засобів», [Электронный ресурс]. URL: <http://search.ligazakon.ua/search/law/project/>

5. Лурье, Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. – 448 с.
6. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов / Комитет Рос. Федерации по рыболовству, охране природы. – М.: Мединор, 1995. – 303 с.
7. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. — СПб.: Профессия. 2004. — 240 с.
8. Беспаяткова Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: справ. / Г.П. Беспаяткова, Ю.А. Кротова // – Л.: Химия, 1985. – 528 с.
9. Регламент Европарламента и Совета ЕС от 31.03.2004 "О моющих средствах" [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32004R0648>
10. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом.
11. СНиП 2.04.03 – 85 «Канализация. Наружные сети и сооружения».
12. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник в 3-х томах. - Калуга, Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 1024 с.
13. Ambulkar, Archis R. "Nutrient Pollution and Wastewater Treatment Systems." Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. April 26, 2017. Oxford University Pres. URL:<https://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-495>
14. Dr Sean Comber, Mr Michael Gardner, Mrs Karyn Georges, Dr David Blackwood & Dr Daniel Gilmour Domestic Source of Phosphorus to Sewage Treatment Works, Environmental Technology, Accepted author version posted online: 14 Nov 2012. – 225 p.
15. Olga Ruzhitskaya¹, Elena Gogina, Methods for Removing of Phosphates from Wastewater, MATEC Web of Conferences 106, 07006 (2017). URL: [https://yandex.ua/search/?text=15.%20Olga%20Ruzhitskaya1%2C%20Elena%20Gogina%2C%20Methods%20for%20Removing%20of%20Phosphates%20from%20Wastewater%2C%20MATEC%20Web%20of%20Conferences%20106%2C%2007006%20\(2017\)%2C&clid=1955453&banerid=6400000000%3A5e0b585d9208c200249f9993&win=213&rdnd=619220&lr=142&redircnt=1579462520.1](https://yandex.ua/search/?text=15.%20Olga%20Ruzhitskaya1%2C%20Elena%20Gogina%2C%20Methods%20for%20Removing%20of%20Phosphates%20from%20Wastewater%2C%20MATEC%20Web%20of%20Conferences%20106%2C%2007006%20(2017)%2C&clid=1955453&banerid=6400000000%3A5e0b585d9208c200249f9993&win=213&rdnd=619220&lr=142&redircnt=1579462520.1)
16. Water, Air, & Soil Pollution, January 2016. Detergents as a Source of Phosphorus in Sewage: the Current Situation in Brazil. Claudia Maria Gomes de Quevedo, Wanderley da Silva Paganini. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11270-015-2700-3>

УДК 697.112.3

Колесник Роман Романович,
магистрант кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Выборнов Дмитрий Владимирович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

АНАЛИЗ НОРМИРУЕМЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

В данной статье рассматривается анализ нормируемых термических сопротивлений ограждающих конструкций зданий по трем нормативным документам (европейский, российский и украинский). Приведен расчет термических сопротивлений на многослойной конструкции стены.

Ключевые слова: термическое сопротивление, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплопередачи, теплоизоляционный материал

Формулировка проблемы. Десятки лет назад идеи экономии тепловой энергии были для большинства людей абстрактным понятием. На сегодняшний день в мире произошла трансформация взглядов общества. Причиной этому служит значительное повышение цен на энергоресурсы, меняющаяся политика государства в области коммунальных услуг, повышение внимания к охране природы. Распределение потребления энергоресурсов в Украине в настоящий момент выглядит так: промышленность и сельское хозяйство – до 50 %, транспорт и жилищный сектор по 25 %. При этих данных процент теплопотерь достигает до 40 %. Притом 20 из 40 % теряется из-за недостаточной теплоизоляции наружных стен. Исходя из этого следует, что для реконструируемых зданий и для зданий новой постройки необходимо устанавливать дополнительную теплоизоляцию. Каждый третий жилой дом на постсоветском пространстве нуждается в капитальном или текущем ремонте. Поэтому в ближайшее время на реконструкцию зданий потребуется направить основной поток инвестиций.

На сегодняшний день уделяется большое внимание энергосберегающим технологиям в строительстве. Сотни миллионов квадратных метров ранее построенного жилья не соответствуют современным требованиям по термическому сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Такие жилые дома нуждаются в выполнении теплоизоляции наружных стен с использованием современных и эффективных методов утепления.

Одним из самых популярных способов реконструкции зданий с утеплением является наружное утепление поверхности стены. Существует много различных материалов для утепления наружных ограждающих конструкций, но к самым распространенным относятся: пенопласт, пеноплекс и пенополиуретан и различные минераловатные. Каждый из этих материалов имеют различные характеристики, что влияет на выбор.

Анализ исследований и публикаций. Огромную работу в области термомодернизаций зданий изложили: А.Н. Березюк, П.В. Монастырев, А.Е. Елохов, Ю.А. Табунщиков и многие другие отечественные и зарубежные ученые. А.Н. Березюк в своей работе провел усовершенствование утепления фасадов, а также осуществил оценку существующих методов утепления [5]. А.Е. Елохов провел исследование оценки различных схем утепления и влияния зазоров между плитами теплоизоляции [6].

Целью работы является анализ сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции используемых в европейских, российских и украинских стандартах.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- сделать анализ современных методов термомодернизаций зданий;
- произвести расчет значений сопротивления теплопередачи;
- сравнить полученные данные, сделать вывод.

Основной материал. В качестве объекта была выбрана несущая ограждающая конструкция стены, схема конструктивных слоев которой приведена на рисунке 1.

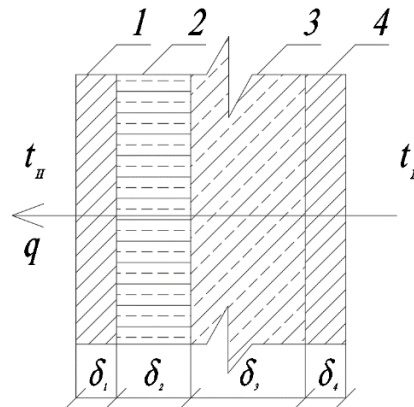


Рисунок 1 – Схема конструкции слоев стены

- 1 - цементно-песчаный раствор; 2 – утеплитель (маты прошивные теплоизоляционные);
3 – кладка из керамического пустотного кирпича; 4 – известково-песчаный раствор

Исходными данными являются нормативные источники литературы (европейский, российский, украинский).

Наружная ограждающая конструкций состоит из: кладка из керамического пустотного кирпича толщиной 380 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,58$ Вт/(м² · К), утеплителем (маты прошивные теплоизоляционные) толщиной 120 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,048$ Вт/(м² · К), отделкой снаружи цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,81/0,93$ Вт/(м² · К), и отделкой внутри известково-песчаным раствором толщиной 20 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,93/0,81$ Вт/(м² · К).

Расчеты проводились в соответствии с требованиями европейских, российских и украинских нормативов:

- DIN EN ISO 6946 «Теплостойкость и коэффициент теплопередачи»;
- СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;
- ДБН В 2.6-31:2016 «Тепловая изоляция зданий».

Действительное термическое сопротивление по [1] определяется по формуле

$$R_d = \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_b}, \quad (1)$$

где α_b и α_n – коэффициенты теплопередачи и тепловосприимчивости соответственно определяются с приложением Е [1]; $\alpha_b = 8,7$ Вт/м² · °С; $\alpha_n = 23$ Вт/м² · °С;

δ_i - толщина i-го слоя, м;

λ_i - коэффициент теплопроводности i-го слоя, определяется по приложению Л [1]; Вт/м · °С.

$$R_d = \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,12}{0,048} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{8,7} = 3,36 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Действительное термическое сопротивление по [2] определяется по формуле:

$$R_d = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (2)$$

где α_b и α_n – коэффициенты теплопередачи и тепловосприятости соответственно, определяются по таблицам 4 и 6 [2] $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$; $\alpha_n = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$;

δ_i – толщина i -го слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя, $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$, определяется по приложению Т [2];

$$R_d = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,12}{0,048} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,36 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Действительное термическое сопротивление по [3] определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{U} - R_{si} - R_{se}, \quad (3)$$

где R_{si} – термическое сопротивление внутренней поверхности, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$;

R_{se} – термическое сопротивление внешней поверхности, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$;

U – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

$$U = \frac{1}{R_{tot}};$$

где R_{tot} – общее термическое сопротивление;

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}; \quad (4)$$
$$R_{tot} = 0,13 + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,12}{0,048} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,02}{0,93} + 0,04 = 3,37 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт};$$

$$U = \frac{1}{3,37} = 0,297 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$R = \frac{1}{0,297} - 0,13 - 0,04 = 3,20 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Выводы.

В работе представлен расчет сравнения термического сопротивления по европейским, российским и украинским стандартам.

В результате расчетов было определено, что требования к термическому сопротивлению для наружной ограждающей конструкции по российским и украинским стандартам равны, а по европейским нормативам меньше на $0,16 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$.

Список литературы

1. ДБН В 2.6-31:2016. Тепловая изоляция зданий [Текст]. К.: Минрегион Украины, 2016. – 24с.
2. СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: ГУП ЦПП, 2004. – 95с.
3. DIN EN ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method (ISO 6946:2017).
4. Белоус А.Н., Новиков Б.А., Белоус О.Е. / Техничко-экономическое обоснование системы фасадного утепления зданий серии ИИ-04 // Современное промышленное и гражданское строительство. -2017. Том 13, №4. С. 179-187.
5. Березюк А.Н. Усовершенствование способа наружного утепления и отделки фасадов зданий / А.Н. Березюк, К.Б. Дикарев, П.И. Несевря, А.А. Скокова, И.И. Ермак // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2011. №5. - С. 15-20.

6. Елохов А.Е. Сравнение эффективности схем утепления в системах навесных вентилируемых фасадов / А.Е. Елохов, А.А. Верховский, В.А. Борисов // Academia. Строительство и архитектура. - 2018. - С. 116-122.
7. Vytautas Stankevičius/ Expanding the possibilities of building modernization: Case study of Lithuania // Journal of civil engineering and management. – 2014. С. 819-828.
8. Езерский, В. А. Имитационная модель оптимизации параметров термомодернизации жилых зданий в масштабе города / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. № 31(50). Часть 2. Строительные науки. – 2013. – С. 475-484.

УДК 621.355.1:622.817

Медведев Валерий Николаевич,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»;
Кошелева Екатерина Вадимовна,
студентка кафедры «Техносферная безопасность»
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ШАХТНОЙ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В статье рассмотрены материалы, раскрывающие пути энергоресурсосбережения на угольных шахтах при производстве работ, связанных с подготовкой газоаналитической техники к проведению мониторинга рудничной атмосферы. Показано, что для экономии электроэнергии и продления срока службы автономных источников питания при зарядке аккумуляторных батарей современных газоанализаторов необходимо заменить или модернизировать зарядные станции «Заряд-2», а для экономии газовоздушных смесей, применяемых для настройки газоанализаторов, следует масштабировать сигналы, поступающие от датчиков этих изделий.

Ключевые слова: шахта, мониторинг, газоанализатор, обслуживание, энергоресурсосбережение, аккумулятор, газовая смесь

Для обеспечения безопасности горных работ в угольных шахтах широко используется газоаналитическая техника, позволяющая осуществить мониторинг рудничной атмосферы и защитное отключение электроэнергии в контролируемых зонах при превышении предельно допустимых норм измеряемых компонентов [2]. Поддержание работоспособного состояния этой техники требует затрат электроэнергии и других ресурсов, что повышает себестоимость угля и косвенно оказывает негативное влияние на экологическую обстановку в регионе.

Анализ литературных и патентных источников показывает, что энергоресурсосберегающим технологиям уделяется большое внимание, но область шахтной газометрии пока остается мало исследованной в данном направлении.

На первый взгляд относительно небольшое потребление электроэнергии газоанализаторами и системами аэрогазового контроля не является определяющим фактором в энергозатратах шахты. Однако, если учесть наличие только в угольной отрасли ДНР более 3000 переносных анализаторов метана, около 10 000 сигнализаторов метана, совмещенных с головными светильниками, и более 2500 стационарных датчиков различных газов, то становится очевидным важность данного вопроса. Кроме того, если рассматривать затраты, связанные с метрологическим обеспечением и обеспечением функциональной безопасности газоаналитической техники, то энергоресурсосбережение приобретает еще большую весомость и актуальность.

Цель статьи – показать пути энергоресурсосбережения при обслуживании газоаналитической техники, применяемой на угольных шахтах для обеспечения безопасности горных работ по газовому фактору.

1. Об энергосбережении на этапе зарядки автономных источников питания шахтных газоанализаторов

До недавнего времени в переносных анализаторах и сигнализаторах метана в качестве автономных источников питания применялись никель-кадмиевые аккумуляторные батареи. Они имеют низкое внутреннее сопротивление, работают в широком температурном диапазоне (-50...+40°C), характеризуются саморазрядом до 10% в месяц, не требуют соблюдения жестких режимов зарядки, но обладают «эффектом памяти», значительными габаритами и массой [1]. Для зарядки таких батарей угольные шахты оснащены станциями «Заряд-2».

При выборе емкости аккумуляторных батарей разработчики газоанализаторов исходят из 10 часов непрерывной работы приборов, хотя реально рабочий цикл (смена) не превышает 6-7 часов. Избыток энергии необходим на случай аварийной обстановки, когда горнорабочие не могут своевременно покинуть шахту. По этой причине, в подавляющем большинстве случаев, на обслуживание в ламповые шахт поступают газоанализаторы, у которых аккумуляторные батареи разряжены на 60-70%.

Из-за «эффекта памяти» никель-кадмиевые батареи должны перед зарядкой подвергаться доразряду. В результате происходит потеря электроэнергии на 30-40% от потребности регламента газового мониторинга.

Для энергосбережения и снижения массогабаритных параметров газоанализаторов производители перешли на использование литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов, которые имеют удельную энергетическую емкость до 250 Вт·ч/кг, саморазряд на уровне 1% в месяц и не обладают «эффектом памяти». Однако, при этом появились некоторые технические сложности. Так, глубокий разряд полностью выводит литиевые аккумуляторы из строя, а увеличение напряжения зарядки всего на 4% может привести к увеличению тока зарядки в 10 раз, последующему их перегреву и деградации [4].

Жестким требованиям к зарядке литиевых аккумуляторов не удовлетворяют широко применяемые для этих целей на шахтах ДНР станции «Заряд-2», что чревато преждевременным выходом из строя автономных источников питания газоаналитической техники. Экономический эффект от энергосбережения оборачивается в данном случае потерями в длительности эксплуатации таких источников.

Решение затронутой проблемы заключается в замене станций «Заряд-2» на специальные зарядные устройства или в коренной модернизации этих станций в части их адаптации к специфическим требованиям, предъявляемым к зарядке литиевых аккумуляторов. Примером может служить модернизация, которая проведена в ГП «Шахта им.А.Ф. Засядько», где указанные станции были доукомплектованы индивидуальными электронными зарядными ячейками российского производства.

2. О ресурсосбережении при настройке шахтных газоанализаторов

Для метрологического обеспечения шахтной газоаналитической техники ежедневно проводятся ее регулировки с применением различных аттестованных газовых смесей. Эти смеси поставляются в баллонах высокого давления или в отдельных случаях изготавливаются непосредственно на шахтах с применением образцового испытательного оборудования. Даже при аккуратном обращении с такими закономерно дорогими смесями их расход исчисляется десятками, а для крупных предприятий – сотнями литров в сутки. Необходимо также обратить внимание на то, что после использования смеси выбрасываются в атмосферу, нанося вред окружающей среде. Поэтому стремление к ресурсосбережению (экономии газовых смесей) оправдано как с экономических, так и экологических позиций.

Многие разработчики и производители газоаналитической техники, желая победить в конкурентной борьбе, максимально удешевляют продукцию за счет простых схмотехнических решений. Примером могут служить сигнализаторы метана, совмещенные с головными светильниками, серии СМГ, которые серийно выпускаются в Украине и России [3].

В самом общем виде измерительные тракты приборов серии СМГ можно представить в виде упрощенной структурной схемы, приведенной на рисунке 1.

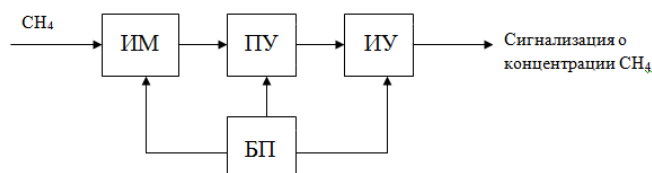


Рисунок 1 - Упрощенная структурная схема измерительных трактов приборов серии СМГ:
ИМ – измерительный мост, ПУ – пороговое устройство, ИУ – исполнительное устройство, БП – блок питания

Метан, воздействуя на сенсор прибора, приводит к появлению электрического сигнала в диагонали измерительного моста. Если этот сигнал превышает определенный уровень, пропорциональный предельно допустимой норме концентрации контролируемого газа, то происходит срабатывание порогового устройства. Исполнительное устройство, получив командный сигнал от ПУ, выдает информацию о степени опасности окружающей среды, побуждая горнорабочего покинуть опасную зону. С помощью блока питания осуществляется поддержание заданных режимов работы всего газоанализатора.

Для настройки СГМ на сенсор необходимо подать метановоздушную смесь строго определенного значения, в которой концентрация метана равна предельно допустимому значению, установленному нормативными требованиями [5]. Затем, путем регулировки уставки срабатывания порогового устройства, добиваются выдачи сигнализации от исполнительного устройства.

Проверку качества настройки осуществляют с помощью поочередной подачи на сенсор двух смесей со следующими концентрациями

$$C_1 = C_{\text{нор}} + \Delta,$$
$$C_2 = C_{\text{нор}} - \Delta,$$

где C_1, C_2 – значения концентрации в проверочной смеси, об. % CH_4 ;

$C_{\text{нор}}$ – нормированное предельно допустимое значение концентрации, об. % CH_4 ;

Δ - величина основной абсолютной погрешности прибора, об. % CH_4 .

Прибор считается настроенным, если при концентрации C_1 присутствует сигнализация, а при C_2 – отсутствует.

Указанную процедуру настройки можно значительно упростить путем масштабирования сигналов, поступающих на вход порогового устройства. Для этого между ИМ и ПУ следует установить усилитель с регулируемым коэффициентом передачи. В таком случае все настройки можно осуществлять с помощью электрических измерительных приборов и использовать только одну аттестованную смесь с любой концентрацией, попадающей в диапазон 1 – 2,5 об. % CH_4 [3]. В результате экономятся две дорогостоящие проверочные смеси, ускоряется процесс настройки, повышаются качественные показатели газоанализаторов за счет использования более точных средств измерения, а также повышаются безопасность и экологичность проводимых работ, т. к. снижается общий объем горючего газа, применяемого при настройке приборов.

Вывод.

Обслуживание газоаналитической техники входит составной частью в комплекс работ по осуществлению контроля газовой опасности на предприятиях угольной отрасли. Эта часть является базовой в плане сохранения на заданном уровне характеристик газоанализаторов и постоянно требует финансовых затрат. Поэтому энергоресурсосберегающее направление, представленное в статье в виде двух примеров, должно стать залогом экономической поддержки высокого качества эксплуатации шахтных газоанализаторов.

Список литературы

1. Багоцкий В.С. Химические источники тока / В.С. Багоцкий, А.М. Скундин. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 740 с.
2. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
3. Медведев В.Н. Современное состояние и направления развития индивидуального контроля содержания метана в угольных шахтах / В.Н. Медведев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 2012. - №1 (29). – С. 104-110.
4. Мельничук О.В. Особенности заряда и разряда литиевых аккумуляторных батарей и современные технические средства управления этими процессами / О.В. Мельничук, В.С. Фетисов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. - №2. – С. 41-47.
5. НПАОТ 10.0-1.01.-16 Правила безопасности в угольных шахтах. – Донецк, ДНР.: Изд-во «Полипресс», 2016. – 218 с.

УДК 669.04:669.187.2

Шатович Виктория Алексеевна,
студент кафедры технической теплофизика;
Гниatiiв Павел Александрович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры технической теплофизика
ГОУ ВПО «ДОННТУ»

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В ДСП

В данной работе рассмотрены вопросы ресурсосбережения при выплавке стали. Энергетические затраты на производство стали выше по сравнению с другими плавильными печами. В этих условиях необходимо искать резервы повышения эффективности использования ДСП. Более подробно рассмотрен предварительный высокотемпературный подогрев шихты перед подачей в дуговую сталеплавильную печь. Данный способ позволит не только снизить затраты, но и увеличить производительность плавильного агрегата.

Ключевые слова: ресурсосбережение, электроэнергия, дуговая сталеплавильная печь, предварительный высокотемпературный подогрев, лом, процесс Consteel, «бадья-термос»

Современные дуговые сталеплавильные печи (ДСП) являются одними из наиболее энерго- и материалоемких агрегатов в металлургии. Достоинством дуговых электропечей является то, что в них выплавляют основную часть высококачественных легированных и высоколегированных сталей, которые затруднительно, либо невозможно выплавлять в конвертерах. Принцип работы дуговой электропечи основан на создании электрической дуги, между графитовыми электродами и металлоломом. Благодаря возможности быстро нагреть металл, можно вводить большие количества легирующих добавок и иметь в печи восстановительную атмосферу и безокислительные шлаки, что обеспечивает малый угар вводимых в печь легирующих элементов.

Кроме того, имеется возможность более полно, чем в других печах, раскислять металл, получая его с более низким содержанием оксидных неметаллических включений, а также получать сталь с более низким содержанием серы в связи с ее хорошим удалением в безокислительный шлак. Также есть возможность плавно и точно регулировать температуру металла. Однако следует отметить, что в настоящее время большинство вышеуказанных операций производится в установках внепечной обработки, стали. А основной функцией электросталеплавильной печи является фактически только расплавление металла [1].

Как и в любом производстве при работе ДСП имеются:

- затраты на электроэнергию – 420-480 кВт·ч/т;
- расход электродов – 1,5-2,5 кг/т;
- потери тепла, уносимые отходящими газами – 20%;
- тепловые потери при открытом своде, через рабочее окно – 10% [2,5].

Известные способы сокращения удельных затрат на плавку дает соотношение [4]:

- дожигание СО непосредственно в рабочем пространстве путем дополнительной подачи воздуха или кислорода. Отходящие газы содержат 80 – 90% СО, дожигание которого до СО₂ сопровождается выделением большого количества тепла. За счет полученного тепла долю металлического лома в шихте можно увеличить на 3 – 10%. Одновременно при том же газоотводящем тракте можно увеличить интенсивность продувки, повысив производительность на 6% [9];
- работа на вспененных шлаках и вдувание кислорода в ванну металла (с корректировкой углеродосодержащего компонента). Работа со вспененным шлаком является обязательной в современных электросталеплавильных комплексах. Экономия расхода электроэнергии достигается благодаря лучшей передаче тепла конвекцией через слой шлака в системе «шлак-

металл», частичному нагреву сопротивлением, введению дополнительного тепла за счет окисления углерода кислородом, вдуваемым в печь с расходом 25-30 нм³/т. Интенсивному вспениванию шлака, особенно, способствует совместное вдувание кислорода с порошкообразными высокоуглеродистыми материалами. Вспенивание шлака необходимо обеспечивать в конце периода плавления, когда еще в печи есть остатки не расплавившейся шихты. Одновременно ввод кислорода и углерода позволяют проводить процесс обезуглероживания металла и вспенивание шлака. При этом кислород необходимо вдувать с помощью фурмы непосредственно в металл, а углерод с помощью инжекторов путем изменения угла наклона фурмы. Продувку необходимо осуществлять при температурах металла от 1550 до 1680⁰С до достижения содержания углерода в металле 0,15-0,05%. Данные мероприятия позволят сократить расход электроэнергии на 9-15% [10];

- повышение удельной мощности печных трансформаторов (работа на длинных дугах) – 10 %. Плавка в режиме длинных дуг, экранированных пенистым шлаком, возможна, если печь обслуживается манипулятором или в цехе имеется бункерная эстакада для подачи в печь шлакообразующих и порошкообразного угля. Там, где этого нет, плавка должна проводиться в режиме коротких дуг, заглубленных в расплав;

- использование в завалке жидкого чугуна – 10%. Применение в завалку электропечи жидкого чугуна энергетически выгодно не только из-за выделения дополнительной химической энергии, но и ввода в ванну физического тепла. Температура жидкого чугуна перед заливкой в печь составляет 1150-1350⁰С, при этом его теплосодержание достигает 223-272 кВт·ч/т, что обеспечивает при замене 1 % лома жидким чугуном около 2,23-2,72 кВт·ч/т дополнительной энергии;

- использование топливно-кислородных или плазменных горелок. При использовании горелок продолжительность плавления и расход электроэнергии снижаются на 12 %, хотя общий расход топлива на плавку несколько увеличивается. Положительный экономический эффект достигается главным образом в результате увеличения производительности печи и уменьшения удельного расхода электродов [9];

- высокотемпературный подогрев шихты – до 20-40 %. Эффект от применения горячей шихты – это не только сокращение расхода энергоресурсов, но и увеличение производительности плавильных агрегатов, сокращение расхода электродов и футеровки, улучшение экономических характеристик плавки и т.п. В развитии техники предварительного подогрева шихты наметились два направления: модернизация самих печей путем дополнения их устройствами подогрева шихты, например, создание шахтно-дуговых печей, и нагрев в загрузочных бадьях (корзинах). Последний способ значительно проще, дешевле и пригоден для действующих печей.

Установка «бадья-термос»

Нагрев шихты в загрузочных бадьях (корзинах) в свою очередь является малозатратным и универсальным, а также пригодным не только для новых цехов, но и для действующих, для всех типов электропечей, не требующих изменений в технологии и организации производства.

Предлагаемое устройство обеспечивает возможность нагрева шихты, предназначенной для загрузки в плавильную печь, до температуры 600⁰С, не допуская при этом нагрева корпуса бадьи выше температуры (250-350⁰С), установленной требованиями техники безопасности для грузонесущего оборудования, за счет того что оснащено дополнительной теплоизолированной вставкой, установленной внутри корпуса коаксиально, в виде цилиндра.

Благодаря установке вставки обеспечивается допустимый полезный объем бадьи и образование кольцевого зазора между вставкой и корпусом бадьи для теплоизоляционного материала. В результате обеспечивается высокотемпературный нагрев шихты, сокращение удельных затрат и повышение качества выплавляемой стали.

Отличительной особенностью является применение горелки, что позволит осуществлять равномерный нагрев лома.

В бадье среднее время подогрева шихты составляет 600°C за 15-20 минут (ёмкость загрузочной корзины 6т), температура отходящих газов порядка 250°C [8].

Процесс Consteel

Система Consteel явилась эффективным ответом на возросшие требования, с которыми столкнулись металлурги во всем мире. Эффективное использование доступных видов энергии, удовлетворение жестких требований нормативной документации, связанной с охраной окружающей среды, повышение производительности – таковы некоторые особенности этой промышленной технологии. Для процесса Consteel характерна постоянная загрузка в электродуговую печь металлосодержащей шихты, которая предварительно нагревается, и контролируемый выброс газов. В технологической линии Consteel скрап с помощью кранов загружают на горизонтальные импульсные транспортеры, которые его подают в ванну ДСП [3].

Перед поступлением в печь скрап проходит через участок предварительного подогрева с туннельной печью, где нагревается потоком отходящих газов, движущихся во встречном направлении. В ходе непрерывной загрузки ванна с жидким металлом в ДСП защищена слоем вспененного шлака, и ее температура – или удельный расход энергии – контролируется. Скрап, поступающий в печь, погружается в жидкий металл (оставшийся от предыдущей плавки), который всегда имеет достаточный объем. Электрическая дуга под слоем вспененного шлака.

Энергия передается ванне с жидким металлом и шлаку с большей эффективностью, при этом уменьшается излучение в направлении стеновых панелей и огнеупоров. Так как ванна с расплавленным металлом покрыта вспененным шлаком на протяжении всего периода работы печи под током, то электрическая дуга работает в более стабильных условиях, чем в случаях, когда она горит в атмосфере и при работе с более высоким коэффициентом мощности, то есть при максимизации активной мощности по отношению к реактивной.

Недостаток процесса Consteel. В первых публикациях, относящихся ко времени появления процесса Consteel, отапливаемого отходящими газами ДСП, фигурировали значения температуры(t), порядка 600—800°C. В настоящее время принимают $t = 300^\circ\text{C}$. Однако и эта температура представляется несколько завышенной [6].

Низкой эффективности нагрева лома на печах Consteel соответствуют высокие расходы электроэнергии. На 130-т печи расход электроэнергии составил 395 кВт·ч/т. Эти расходы выше, чем на современных ДСП. В отличие от нагрева лома отходящими газами горелки могут обеспечить нагрев лома до высоких температур с большой скоростью. С помощью горелки мощностью 160—180 МВт 100 т лома нагревали до $t = 700\text{--}750^\circ\text{C}$ примерно за 7 мин [6].

Применение топливо-кислородных горелок (ТКГ) в зонах печи, где наблюдаются пониженные температуры, позволяет получить ровный фронт плавления. Использование газообразного кислорода позволяет не только окислить примеси, но ускорить процессы расплавления шихты и интенсифицировать процессы теплообмена в наплавленной ванне за счет поддержания ее кипения. Соответственно меняющимся условиям плавки трансформируются и способы ввода кислорода в ДСП.

Режим сжигания топлива в ТКГ можно отрегулировать в соответствии с характером протекающего процесса — от обеспечения восстановительной атмосферы до высокоокислительной за счет изменения коэффициента избытка кислорода от 0,7 до 1,4 и более. Ускорение плавления шихты и снижение потребления электроэнергии тем заметнее, чем меньше мощность печного трансформатора. При малой длительности периода плавления и всего цикла плавки в современных высокомоощных печах увеличению максимальной мощности ТКГ препятствуют два фактора: интенсивность теплообмена между факелом и шихтой, а также полнота сжигания топлива. В настоящее время появились ТКГ с возможностью одновременного вдувания и сжигания кислорода и порошкообразного углеводородного топлива [5].

Основным преимуществом процесса Consteel является экономия электроэнергии, достигаемая благодаря действию следующих факторов:

- предварительному нагреву скрапа;
- отсутствию необходимости открывать крышку печи для загрузки скрапа;
- высокому соотношению времени работы печи под током и длительности плавки от выпуска до выпуска;
- влиянию консистентного вспененного шлака;
- сокращение объема пыли в выбросах на 30 – 40 % при одновременном снижении уровня шума во время расплавления в среднем до 90 дБ;
- содержание диоксинов СО и NO_x в выбросах в пределах нормы [6].

В процессе Consteel не предъявляется особых требований к металлсодержащей шихте. Потребитель может приобретать скрап низкой плотности, так как отсутствуют ограничения по объему, присущие загрузке коробами. Другим важным и подтвержденным преимуществом является повышенный выход годного, достигаемый в результате более эффективного равновесия металлургических реакций в расплавленном металле благодаря снижению образований FeO. В результате значительно уменьшается стоимость металлошихты. Непрерывная загрузка обеспечивает высокую гибкость процесса, позволяя использовать железо прямого восстановления, горячебрикетированное железо, жидкий и чушковый чугун [3].

Равномерный процесс плавки в ванне печи оказывает меньшее воздействие на такое оборудование, как водоохлаждаемые стеновые панели, крышка, водоохлаждаемые фурмы, а также завалочные краны, которые уже не используются, за исключением редких случаев завалки коробами, например в начале кампании печи. Кроме того, сокращаются объемы ремонтов футеровки и горелок. Новейшие системы Consteel спроектированы с высокой надежностью, высоким уровнем работоспособности (более 99 %), требуют небольшого и несложного ремонтного обслуживания.

Вывод.

Наибольшее влияние на энергоресурсосбережение ДСП, как было показано, оказывает тип преимущественно используемой шихты и способ ее загрузки.

Список литературы

1. Луценко В. Т. Технология выплавки электростали в дуговых печах: учеб. пособие / В. Т. Луценко, В. А. Павлов, В. Ф. Мыsik. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. — 81 с.
2. Рябов А. В. Современные способы выплавки стали в дуговых печах: учеб. пособие / А.В. Рябов, И.В. Чуманов, М.В. Шишимиров. — М.: Теплотехника, 2007. — 197 с.
3. Чаймелов А.А. Энергоэффективный стенд для сушки и нагрева лома/ А.А. Чаймелов, К.В. Строгонов//Источники энергии, теплоносители и хладоносители – Энергетика и теплоэнергетика 2018. – №3.– С. 2-6.
4. Маркоцци М. Совершенствование предварительного нагрева и важность работы электродуговых печей большой емкости с жидким остатком/ М. Маркоцци, М. Гаццон // Металлургическое производство и технология. – М.: Металлургия, 2011. – №2. – С. 8-20.
5. Тулуевский Ю.Н. Новые возможности печей Consteel / Ю.Н. Тулуевский, И.Ю. Зинуров, В.Г. Швер // Производство чёрных металлов. – 2011. – №6. – С. 22-27.
6. Тулуевский Ю.Н. Топливодуговой сталеплавильный агрегат нового поколения/Ю.Н. Тулуевский, И.Ю. Зинуров // Экология и промышленность. – 2014. – №1. – С. 30-35.

7. Кузьменко А. Г. Технология электропечи Consteel: Перспективы применения в отечественной металлургии/А. Г. Кузьменко, Ю. Ф. Фролов, М. А. Поздняков, В. Н. Корнев, А. П. Фоменко, С. Д. Саутин// Сталь. – 2016. - №4. – С. 16-21.
8. Ровин, Л. Е. Ресурсосбережение при электроплавке / Л. Е. Ровин, С. Л. Ровин // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно - практический журнал. – 2013. – №4. – С.11-24.
9. Чёрная и цветная металлургия на Metallurgist.pro [Электронный ресурс]. – URL: <https://metallurgist.pro/> свободный – (02.11.2019).
10. Файловый архив для студентов [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/> свободный – (06.02.2016).

УДК 697.921.47:621.577.64

Акименко Станислав Юрьевич,
магистрант кафедры теплотехника,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Колосова Нелли Вадимовна,
ассистент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ТИПА "ВОЗДУХ-ВОЗДУХ" ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛА ПРИТОЧНО- ВЫТЯЖНОЙ УСТАНОВКИ

В данной статье выполнен обзор видов рекуператоров. Для повышения коэффициента рекуперации приточно-вытяжной установки предлагается применение второй ступени рекуперации в виде теплового насоса типа «воздух-воздух». Выполнен сравнительный анализ коэффициента рекуперации с использованием теплового насоса для утилизации тепла в приточно-вытяжной установке с коэффициентом рекуперации приточно-вытяжной установки без теплового насоса, обслуживающей общественное здание.

Ключевые слова: приточно-вытяжная установка, рекуператор, тепловой насос, хладагент, коэффициент рекуперации

С целью экономии энергоресурсов на нагрев приточного воздуха в системах вентиляции применяют различные способы. Системы вентиляции с рециркуляцией воздуха позволяют снизить затраты энергии на нагрев воздуха, так как тепловая мощность нагревателя расходуется на изменение температуры только свежего воздуха. В случае, когда применение рециркуляции воздуха не допустимо, применяют рекуперацию тепла в приточно-вытяжных установках. Утилизация тепла происходит в рекуператорах. Наиболее распространёнными видами рекуператоров являются: роторные, пластинчатый, кожухотрубные, радиаторные, спиральные и др. [2, с.287]. Каждый вид рекуператора обладает своими преимуществами и недостатками. Современные приточно-вытяжные установки наиболее часто комплектуются роторными или пластинчатыми рекуператорами [5, с.16].

Наиболее эффективным считается роторный рекуператор, так как его КПД рекуперации составляет 80-90%. К недостатку роторного рекуператора можно отнести: вследствие не герметичности уплотнителей возможен подмес к вытяжному воздуху к приточному, высокая материалоемкость и трудоемкость, работа рекуператора только с применением электроэнергии, высокая стоимость производства и техобслуживания. Ввиду этого данный тип рекуператора имеет большие капитальные вложения и постоянные эксплуатационные затраты.

Наиболее распространённым типом рекуператора является пластинчатый. КПД рекуперации варьируется в пределах 50-85%, в зависимости от конструкции теплообменника, материала. Система состоит из тонких металлических пластин, которая разбивает воздушные потоки. Но данный тип рекуператоров имеет ограничение в диапазоне температур воздуха, так как возможно обмерзание теплообменника [3, с.86].

Одним из способов повышения эффективности рекуперации тепла, в пластинчатых рекуператорах, является увеличение площади теплообмена, установкой пластин треугольной, V-образной или П-образной формы. Так же в литературе приводятся способы повышения рекуперации тепла в приточно-вытяжной установке с комплектацией дополнительного оборудования. Повышение эффективности пластинчатых рекуператоров достигается различными способами. Одним из которых является установка теплового насоса типа «воздух-воздух» (термодинамическая рекуперация).

Целью работы является определение эффективности использования теплового насоса типа «воздух-воздух» для общественного здания.

Приточно-вытяжная установка с рекуперацией тепла является устройством, которое служит основой вентиляционной системы жилых и производственных зданий и помещений, включающая в себя устройства притока и вытяжки воздуха, а применение теплового насоса «воздух - воздух» позволяет добиться максимальной утилизации тепла. Так же тепловой насос может работать в теплое время года для охлаждения приточного воздуха.

Тепловой насос типа «воздух - воздух» установленный в приточно-вытяжной установке являются второй ступенью рекуперации после пластинчатого рекуператора, позволяя добиться максимального эффекта рекуперации тепла. Утилизация тепла отработанного воздуха составляет 95-100%.

Схема приточно-вытяжной установки с тепловым насосом типа «воздух-воздух» приведена на рисунке 1.

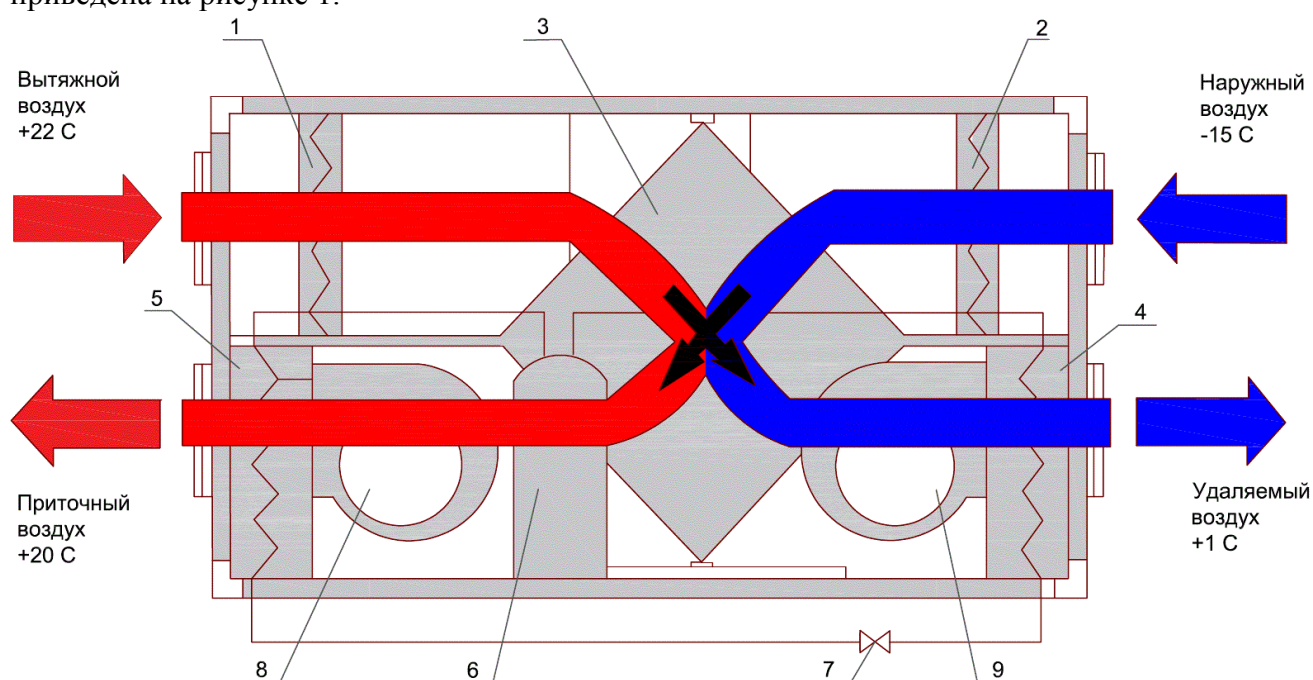


Рисунок 1 – Схема приточно-вытяжной установки с тепловым насосом типа «воздух-воздух»:

- 1 – фильтр вытяжного воздуха, 2 – фильтр приточного воздуха, 3 – рекуператор,
4 – испаритель, 5 – конденсатор, 6 – компрессор, 7 – терморегулирующий клапан,
8 – приточный вентилятор, 9 – вытяжной вентилятор

По ходу движения удаляемого воздуха из помещения, в приточно-вытяжной установке устанавливается пластинчатый рекуператор 2, в котором воздух частично отдает теплоту приточному воздуху имеющего отрицательную температуру. После рекуператора удаляемый воздух попадает в испаритель 4, где происходит окончательное его охлаждение. По контуру фреона в испаритель 4, под высоким давлением, поступает хладагент [1, стр.56]. Удаляемый воздух отдает свою теплоту фреону, при этом фреон переходит в газообразное состояние. Далее газообразный фреон с низким давлением поступает в компрессор 6. В компрессоре бфреон сжимается с резким повышением температуры. Нагретый фреон поступает в конденсатор 5. Конденсатор 5 обдувается воздухом, имеющим температуру ниже температуры фреона, в результате фреон остывает и переходит из газообразной фазы в жидкую с выделением дополнительного тепла. При этом воздух, проходящий через конденсатор 5, нагревается. На выходе из конденсатора 5 фреон находится в жидком

состоянии, под высоким давлением. Из конденсатора 5 жидкий фреон поступает в терморегулирующий клапан 7, понижающий его давление. После клапана 7 жидкий фреон с низким давлением и низкой температурой поступает в испаритель 4 и весь цикл повторяется.

Данная установка может работать как на нагрев приточного воздуха в холодный период, так на охлаждение в теплый период года. При помощи перепускного 4-ходового клапана меняется направление движения фреона. Со стороны приточного воздуха теплообменник становится испарителем, выполняя функцию охлаждения. Забор тепла происходит в теплообменнике установленным по ходу движения удаляемого воздуха, который выполняем функцию конденсатора.

С целью определения эффективности применения теплового насоса «воздух-воздух» в качестве второй ступени рекуперации выполнен расчет определения коэффициента рекуперации для установки, работающей с тепловым насосом и без него в холодный период года. Расчет выполнялся для общественного здания, для которого расходы приточного и вытяжного воздуха равны $L_p=L_v=5000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Температура удаляемого воздуха из помещения составляет 22°C , температура приточного воздуха воздух -15°C . Температура приточного воздуха после рекуператором составляет 7°C .

Коэффициент рекуперации определялся по следующей формуле [4, стр. 43]:

$$\varepsilon = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{11} - t_{21}}. \quad (1)$$

где t_{11} — температура приточного воздуха перед рекуператором;

t_{12} — температура приточного воздуха после рекуператора;

t_{21} — температура вытяжного воздуха перед рекуператором.

В расчет установки с применением теплового насоса значение t_{12} подставлялось как температура воздуха после конденсатора равная 20°C .

По результатам расчетов коэффициент рекуперации приточно-вытяжной установки, работающей без теплового насоса равен 0,59, а с применением тепловым насосом составляет 0,95.

На основании выполненного расчета можно сделать вывод, что применение второй ступени рекуперации тепла в приточно-вытяжной установки в виде теплового насоса «воздух-воздух» позволяет повысить коэффициент рекуперации на 37%.

Применение теплового насоса «воздух-воздух» исключает потребность в дополнительных секциях нагрева и охлаждения. Поэтому преимуществом применения теплового насоса типа «воздух-воздух» является энергоэффективность. Как как для работы теплового насоса используется электроэнергия только для питания компрессора.

Дальнейшая работа будет направлена на расчет габаритных размеров оборудования теплового насоса и создания программного обеспечения для автоматизированного расчет приточно-вытяжной установки с тепловым насосом типа «воздух-воздух».

Список используемой литературы

1. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин и др. – М.: Евроклимат, 2001. – 416 с.
2. Богословский В.Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учебник для вузов / В.Н. Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров. – М.: Стройздат, 1985. – 367 с.
3. Вишневский Е.П. Особенности обеспечения эффективной работы пластинчатых теплообменников рекуперативного типа в суровых климатических условиях / Е.П. Вишневский // Сантехника, отопление, кондиционирование, 2005. – № 1. – С. 84-91.

4. Дискин М.Е. Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания. АВОК. 2006. №4. – С. 40-45.
5. Немировская В.В. Энергосбережение с применением утилизаторов теплоты / В.В. Немировская, А.В. Кузовлев // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование», 2015. – №2. – С. 14-21.

УДК 628.8

Висящев Александр Александрович,
магистрант гр. ЗТГВмб-49, кафедры теплотехника,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Монах Светлана Игоревна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехника,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРНОГО ЭФФЕКТА ПРИ НАРУЖНОМ УТЕПЛЕНИИ СТЕН ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

В данной статье исследован процесс тепломассопереноса, в частности воздухопроницание через наружное ограждение, позволяющее создать так называемый «экономайзер» для подогрева воздуха в конструкции утепляемой наружной стены здания старой застройки.

Ключевые слова: здания старой застройки; наружная стена; теплозащитные качества; воздухопроницание; пористый утеплитель; «экономайзерный эффект»; воздушная прослойка; подогрев наружного воздуха.

Основу жилого фонда нашего региона составляют здания старой застройки, требующие повышения их энергоэффективности.

Поэтому актуальным является поиск архитектурно – конструктивного решения наружных ограждений, позволяющего значительно повысить их теплозащитные качества, увеличить объёмы приточного вентиляционного воздуха и снизить затраты энергии на его подогрев в холодное время года.

В работе предложено инновационное решение по регулированию процесса тепломассопереноса, в частности воздухопроницания через наружное ограждение, позволяющее создать так называемый «экономайзер» для подогрева воздуха в конструкции наружной стены.

В соответствии с концептуальными основами создания "здорового" и энергоэффективного здания ("healthy" and energy efficiency building) необходимо располагать экологически чистыми и эффективными по теплотехническим свойствам строительными материалами. В последние годы ученым–материаловедам удалось значительно понизить плотность некоторых экологически чистых неорганических материалов (пенокерамобетоны, газо– и пенобетоны и др.), что позволило рассматривать их как энергоэффективные материалы.

При инфильтрации наружного воздуха с поверхности однородных ограждений из этих материалов в воздушную среду помещений не выделяются вредные для здоровья продукты распада полимерных материалов в отличие от слоистых конструкций с использованием вспученных пластмасс. Такие наружные ограждения с упорядоченной капиллярно-пористой структурой могут быть использованы как «экономайзерные» конструкции, способствующие улучшению микроклимата помещений. К тому же они обладают способностью к самоочищению от агрессивных веществ, путем выноса их в диффундирующем потоке водяного пара к наружной поверхности, а затем в атмосферу.

В зданиях старой застройки основные тепловые потери происходят из-за низкой теплозащиты наружных ограждающих конструкций, и составляют до 80% от всех суммарных тепловых потерь.

В крупных городах неуклонно повышается химическая и физическая загрязненность воздушной среды и, как следствие, увеличивается возможность проникновения загрязняющих веществ в помещения при инфильтрации и проветривании.

В большинстве жилых зданий применена нерегулируемая вентиляция с естественным побуждением движения воздуха. В помещениях жилых зданий с естественным проветриванием за счет инфильтрации воздуха преимущественно через светопрозрачные ограждающие конструкции и входные двери минимальный воздухообмен должен составлять $3,6 \text{ м}^3/\text{час}$ на 1 м^2 жилой площади или $25,2 \text{ м}^3/\text{час}$ на одного человека [5].

Установлено [2], что практически половина тепловой энергии, потребляемой системами обеспечения микроклимата, тратится на подогрев приточного воздуха.

Важными параметрами микроклимата помещений, кроме температуры внутреннего воздуха, являются: радиационная температура помещения, влажность, подвижность воздуха, его чистота [2].

Все эти параметры взаимосвязаны и взаимообусловлены и их значения не должны выходить за пределы комфортных для человека сочетаний.

В таких условиях появляется необходимость в поисках решений, позволяющих увеличить объёмы вентиляционного воздуха за счёт регулирования его притока через капиллярно-пористую структуру наружного ограждения. Поиск такого решения и привёл к созданию модели «экономайзерного эффекта» и методики организации процесса инфильтрации.

Главным преимуществом «экономайзерных» конструкций является их воздухопроницаемость, способствующая стабильному воздухообмену помещений и благоприятным экологическим параметрам внутренней среды проживания без использования специальных приточных отверстий [1].

Объединив необходимость увеличения термического сопротивления наружных ограждений, установки клапана в герметичных стеклопакетах для организации воздухообмена и идею «экономайзерного эффекта» в работе предложена схема порового подогрева приточного воздуха в соответствии с рисунком 1, рекуперации тепла и снижения тепловых потерь через ограждающую конструкцию, с дооборудованием стены слоем пористого утеплителя с воздушной прослойкой, который обеспечивает повышение сопротивления теплопередаче и подогрев наружного воздуха, подающегося в помещение.

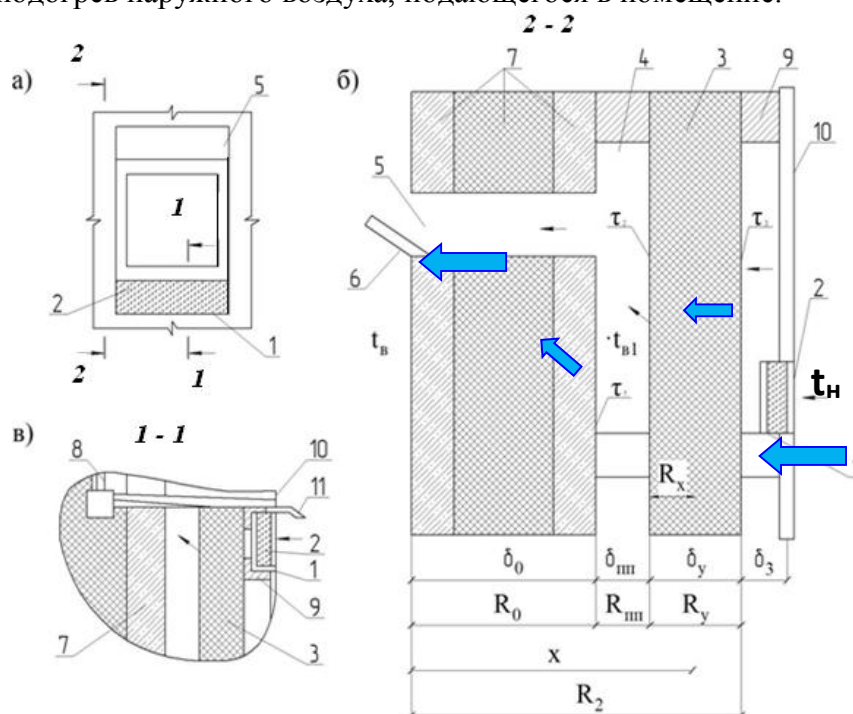


Рисунок 1 – Схема «экономайзера» для приточного воздуха, рекуперации тепла и снижения тепловых потерь, в утепленной наружной стене

- а) фрагмент фасада здания с окном; б) сечение ниже оконного проема;
в) сечение по стене;

1 – входной канал, 2 – сменный кассетный фильтр, 3 – воздухопроницаемый утеплитель, 4 – воздушная прослойка, 5 – выходной канал, 6 – задвижка, 7 – стена здания старой застройки, 8 – оконный блок, 9 – рельс, 10 – защитная панель, 11 – слив конденсата

Наружный воздух поступает во входной канал (1), проходит через установленный под оконным отверстием сменный кассетный фильтр (2) для осаждения пыли, дальше проходит через всю поверхность утеплителя (3) наружной стены кроме площади оконного отверстия и попадает в вентилируемую воздушную прослойку (4). Из нее, утилизируя часть тепла, которое идет из помещения, подогретый воздух поступает в помещение через выходной канал (5) оконного отверстия над стеклопакетом.

Регуляция приточного воздушного потока осуществляется с помощью задвижки (6). Расположение фильтра непосредственно под окном позволяет удобно его демонтировать для замены или регенерации.

Проведены исследования соотношений следующих параметров: величины удельной воздухопроницаемости; тепловых потерь; температур на поверхности предлагаемой конструкции; величины рекуперации трансмиссионного потока теплоты; нижнего порога воздухообмена, определяемого необходимыми воздушными и тепловыми параметрами микроклимата.

Процесс нестационарной передачи теплоты, используя уравнение Фурье, можно выразить зависимостью

$$c_0 \cdot \rho_v \cdot \frac{dt}{d\tau} = \lambda \cdot \frac{d^2t}{dx^2} \quad (1)$$

где c_0 – удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг·град;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·град;

x – расстояние от внутренней до наружной поверхности стены вдоль направления движения теплового потока, м.

При постоянстве удельной теплоемкости воздуха, его плотности и теплопроводности, зависимость (1) в случае стационарной теплопередачи ($\frac{dt}{d\tau} = 0$) примет вид:

$$\frac{d}{dx} \left(\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \right) = 0. \quad (2)$$

В соответствии с принятой схемой движения воздуха через утеплитель (рис.1) в направлении x и вертикально вверх в направлении y , следует определить меру влияния одновременного продольного и поперечного движения для принятия модели одномерного или двумерного течения потока.

Такое определение возможно осуществить при анализе уравнения баланса энергетических потоков у поверхности конструкции с температурой t_2 . В результате анализа получено, что при режиме воздухопроницаемости пористого утеплителя в реальных условиях под действием гравитационных сил и ветрового давления скорость вертикального движения воздуха будет существенно ниже принятой, и величина температурной разницы будет незначительной. В реальном теплообменном процессе таким изменением температуры можно пренебречь. Следовательно, допустимо решать задачу тепломассообмена для одномерного потока: только в направлении, перпендикулярном плоскости пористого утеплителя.

В случае дооборудования наружной стены здания старой застройки с сопротивлением теплопередаче R_0 слоем утеплителя толщиной δ_y из материала с коэффициентом теплопроводности λ_y и воздушной прослойкой толщиной $\delta_{вп}$ с термическим сопротивлением теплопередаче $R_{вп}$ и при отсутствии движения воздуха в воздушных каналах температура на

наружной поверхности старой стены τ_1 и температура на внутренней поверхности утеплителя τ_2 равняются

$$\tau_1 = t_n + \frac{\delta_y / \lambda_y + R_{en}}{R_0 + \delta_y / \lambda_y + R_{en}} \cdot (t_e - t_n). \quad (3)$$

$$\tau_2 = t_n + \frac{\delta_y / \lambda_y}{R_0 + \delta_y / \lambda_y + R_{en}} \cdot (t_e - t_n). \quad (4)$$

В то же время в диапазоне малых отличий значений τ_1 и τ_2 температуру воздуха в воздушной прослойке допустимо считать равной:

$$t_{вп} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}. \quad (5)$$

На основе полученных зависимостей проведены расчетно-аналитические исследования значений τ_1 , τ_2 и $t_{вп}$ для стены с $R_0 = 1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$ при различных толщинах воздушной прослойки ($\delta_{вп} = 10 \text{ мм}$ и $\delta'_{вп} = 50 \text{ мм}$).

Температуры внутреннего ($t_b = \text{const} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$) и наружного воздуха ($t_n = \text{const} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$) приняты постоянными.

Толщина слоя утеплителя принята δ_y от 0,02 до 0,1 м., коэффициент теплопроводности утеплителя $\lambda_y = 0,04 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{град}$.

Также рассчитаны значения удельного теплового потока из воздушной прослойки к наружному воздуху q_{ϕ} .

Для определения допустимого диапазона изменения расхода воздуха через пористый утеплитель и оценки его влияния на процессы теплообмена изучена зависимость температуры в зонах конструкции стены при прохождении наружного воздушного потока через все слои ограждения, в частности стену здания старой застройки на основе известной зависимости [3, 6]:

$$\tau = t_n + (t_e - t_n) \cdot \frac{\exp(c_0 \cdot G_e \cdot R_x) - 1}{\exp(c_0 \cdot G_e \cdot R_2) - 1}. \quad (6)$$

При размерности воздухопроницаемости $G_b - \text{кг} / \text{м}^2 \cdot \text{час}$, удельной теплоемкости воздуха $c_0 - \text{кДж} / \text{кг} \cdot \text{град}$ и термического сопротивления $R_0 -$, их произведение будет величиной безразмерной при условии введения переводного коэффициента 0,28. В случае распределения в этом произведении постоянных и переменных величин, зависимость приводится к виду (с учетом незначительного изменения теплоемкости воздуха в исследуемом диапазоне температуры):

$$\tau = t_n + (t_e - t_n) \cdot \frac{\exp(0,28 \cdot G_e \cdot R_x) - 1}{\exp(0,28 \cdot G_e \cdot R_2) - 1}. \quad (7)$$

Эта зависимость позволяет оценить влияние воздухопроницаемости на температурное поле в многослойной ограждающей конструкции. Удельный расход воздуха, проникающего через такое ограждение, не большой и составляет менее $10 \text{ м}^3 / \text{ч}$ через 1 м^2 поверхности, число Рейнольдса не превышает значения $Re < 0,1$. Тепловые потери за счет такой малой воздухопроницаемости через наружную стену составляют меньше 5% от тепловых потерь при допустимой воздухопроницаемости через неплотности окон.

Проникновение наружного инфильтрационного воздуха приводит к снижению интенсивности теплообмена и коэффициент конвективного теплообмена в соответствии с [3] определится по формуле:

$$\alpha_{\phi_i} = \alpha_i - c_0 \cdot G_e / 2 \quad (8)$$

В связи с этим, во время расчета теплопередачи через пористый воздухопроницаемый слой наружного ограждения термическое сопротивление теплопередаче от наружного воздуха

к поверхности слоя $R_{\text{фн}}^{\tau_3}$ и к его внутренней поверхности $R_{\text{фв}}^{\tau_3}$ следует определять по зависимостям:

$$R_{\text{фн}}^{\tau_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}} - C_0 \cdot G_{\text{в}}/2}, \quad (9)$$

$$R_{\text{фв}}^{\tau_2} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}} - C_0 \cdot G_{\text{в}}/2}, \quad (10)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей модернизируемой наружной стены, соответственно, Вт/м²·град.

Приведенные выше зависимости позволяют рассчитать трансмиссионный теплоперенос, а из анализа зависимостей следует, что рациональной толщиной воздушной прослойки является толщина до 30 мм.

Однако, по приведенным зависимостям невозможно установить связь влияния на тепловой и воздушный режим помещения количества наружного воздуха, поступающего в воздушную прослойку через утеплитель и потом в жилое помещение.

В предложенной схеме модернизации наружных ограждений необходимо знать значение температуры воздушного потока, который поступает в помещение из воздушной прослойки, – $t_{\text{вп}}$.

Эта температура может быть определена только в случае совместного решения уравнений, связывающих параметры формирования температуры: удельного теплового потока из помещения в воздушную прослойку – q_1 , удельного теплового потока из воздушной прослойки к наружному воздуху – $q_{\text{ф}}$, теплового потока через утеплитель с удельным расходом инфильтрационного воздуха $G_{\text{вн}}$ и сопротивлением теплопередаче R_y .

Заданными величинами являются: температуры $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$, а также приведенное сопротивление теплопередаче утепленной стены R_0 .

Для исследования воздушно-тепловых процессов, происходящих в предложенной схеме, использующей «экономайзерный эффект», были использованы известные зависимости [3, 6], дополненные новыми параметрами:

$$\begin{cases} q_{\text{ф}} = (t_{\text{ен}} - t_{\text{н}}) \cdot \frac{0,28 \cdot G_{\text{н}} \cdot \exp(0,28 \cdot G_{\text{е}} \cdot R_{\text{фв}}^{\tau_2})}{\exp[0,28 \cdot G_{\text{н}} \cdot (R_y + R_{\text{фв}}^{\tau_2} + R_{\text{фн}}^{\tau_3})] - 1} \\ t_{\text{ен}} = t_{\text{е}} - q_1 \cdot R_0 \\ \Delta q = q_1 - q_{\text{ф}} = 0,28 \cdot G_{\text{н}} \cdot (t_{\text{ен}} - t_{\text{н}}) \end{cases} \quad (11)$$

где $R_{\text{фв}}^{\tau_2}$, $R_{\text{фн}}^{\tau_3}$ – сопротивление теплопередаче внутренней и наружной поверхности утеплителя, соответственно, м²·град/Вт, определяются по зависимостям (9) и (10);

Δq – утилизируемый инфильтрующимся воздухом удельный тепловой поток, идущий из помещения, Вт/м².

При заданных величинах воздухопроницаемости ($G_{\text{п}}$) установленные математические зависимости (11), при их совместном решении, позволяют определить значения: удельного теплового потока из помещения; теплового потока, который идет через утепленную наружную стену; удельную утилизируемую теплоту; температуру подогретого наружного приточного воздуха.

В результате совместного решения уравнений (11) определяется температура воздуха в воздушной прослойке $t_{\text{вп}}$. Ее определение позволяет определить тепловые потоки q_1 и $q_{\text{ф}}$, а также уточнить значения τ_1 и τ_2 , знание которых необходимо для установления режима регулируемого притока воздуха и необходимого теплопритока для создания нормативного микроклимата.

По полученным уравнениям рассчитаны тепловые режимы модернизированных ограждающих конструкций при различных температурах наружного воздуха в зависимости от воздухопроницаемости конструкции при $\delta_y = 0,02$ м, $\lambda_y = 0,04$ Вт/м · град, $R_0 = 1,6$ м² · град/Вт.

Результаты выполненного аналитического исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При небольшой толщине слоя утеплителя $\delta_y = 0,01 \dots 0,02$ м и повышенной удельной воздухопроницаемости $G_n > 6$ кг/м²·час подогрев наружного воздуха при $t_n = -22$ °С не превысит 7 °С, а при значениях удельной воздухопроницаемости $G_n < 6$ кг/м²·час подогрев воздуха повышается до 8...11 °С;

2. Изменение толщины воздушной прослойки от 10 мм до 50 мм, независимо от толщины утеплителя, приводит к увеличению подогрева инфильтрационного воздуха на 1...3°С;

3. Увеличение толщины слоя пористого утеплителя в три раза (с 0,02 м до 0,06 м) приводит к снижению оттока тепла из помещения приблизительно в 1,5 раза, последующее увеличение его толщины является нерациональным.

Список литературы

1. Береговой А.М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. -2013.-№ 3.-С.140-144.
2. Беккер А. Системы вентиляции. – М.: Техносфера, Евроклимат, 2005. – 232 с.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 412 с.
4. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий // С.О.К. – 2007. – №10. – С. 42-47.
5. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – На заміну СНиП 2.04.05-91, крім розділу 5 та додатка 22. – Чинний від 2014-01-01. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 149 с.
6. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и тепловая оптимизация эффективности зданий. – М.: Авок-Пресс, 2002. – 193 с.

УДК 628.85

Жежерун Максим Сергеевич,
магистрант кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Савич Дарья Владимировна,
ассистент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КОМФОРТНОСТИ МИКРОКЛИМАТА

В статье рассмотрен метод оценки комфортности микроклимата как измерение и оценка основных параметров температурно-влажностного режима помещения. Значительное внимание уделено трудам Пророковой М.В. по определению уровня и степени комфортности помещений за счет расширения спектра параметров, учитываемых при оценке уровня комфортности микроклимата, а также анализа вредностей.

Ключевые слова: микроклимат помещений, параметры микроклимата, уровень комфортности, уровень и степень комфортности

В последнее десятилетие для всего мира возросла актуальность энергосбережения и защиты окружающей среды во всех областях жизнедеятельности человека. Эффективность этих мероприятий должна быть оценена не только с точки зрения экономических показателей, но и с точки зрения поддержания комфортного микроклимата, поэтому комфортные для человека параметры внутренней среды помещения выступают в качестве целевой функции и одновременно являются ограничением при реализации энергосберегающих решений.

Результаты исследований в данной области показывают, что организация комфортного микроклимата с целью сохранения здоровья и работоспособности людей является серьезной проблемой [1], [2].

Обеспечение заданных показателей микроклимата с определением уровня комфортности пребывания человека в помещении является актуальной проблемой и одной из основных задач специалистов по строительной теплофизике, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха.

Цель. Проанализировать метод оценки комфортности микроклимата, провести оценку основных параметров температурно-влажностного режима помещения, характеризующих его тепловой комфорт.

Учет и определение параметров микроклимата в зданиях необходимо выполнять из условий комфортного пребывания в них человека, с обеспечением возможности индивидуального регулирования параметров с целью соответствия субъективным ощущениям комфорта потребителя.

Наиболее распространенным в настоящее время является такой способ определения комфортности микроклимата как измерение и оценка отдельных составляющих температурно-влажностного режима помещения: температуры, подвижности, относительной влажности воздуха, а также характеристик теплового излучения [3].

К основным недостаткам существующих методов комплексной оценки комфортности микроклимата помещений следует отнести:

- специфику объектов, к которым данные способы применимы;
- ограниченность применения по одному из параметров микроклимата;
- ограниченность применения существующих методик из-за необходимости большого количества измерительных приборов для определения характеристик воздушной среды.

Пророкова М.В. впервые решила задачу разработки нового способа определения комфортности микроклимата в помещениях объектов непромышленного назначения. В

качестве критерия комфортности микроклимата, численно характеризующий восприятие человеком основных параметров микроклимата и некоторых вредностей, характерных для зданий непроизводственного назначения.

Метод оценки основан на определении коэффициента комфорта теплового состояния человека и коэффициента качества воздушной среды с введением поправок на основные вредности, характерные для жилых, общественных и административных зданий: асимметрию теплового излучения, радиационное охлаждение и наличие в воздухе иных вредных примесей (пыли, токсичных газов) [4, 5].

Предложено уровень комфортности микроклимата рассчитывать по формуле

$$U_{ком} = \beta \cdot (K_{ТК} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + K_{ТС} \cdot \varepsilon_3), \quad (1)$$

где $K_{ТК}$ - коэффициент комфортности теплового состояния человека, который изменяется от минус 1 до плюс 1 (-1 ... +1). При этом $K_{ТК} = 0$ соответствует абсолютно комфортному тепловому состоянию человека: $K_{ТК} = -1$ - полное отсутствие комфорта при недостатке теплоты; $K_{ТК} = 1$ - полное отсутствие комфорта при избытке теплоты;

ε_1 - поправка, учитывающая влияние на комфортность микроклимата радиационного охлаждения;

ε_2 - поправка, учитывающая влияние на комфортность микроклимата асимметрии теплового излучения;

$K_{ТС}$ - коэффициент качества воздушной среды, учитывающий соответствие качества воздуха нормам, установленным ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [3]. Коэффициент имеет знак «-» в случае недостатка теплоты ($K_{ТК} < 0$) и знак «+» при избытке теплоты ($K_{ТК} > 0$);

ε_3 - поправка на дополнительные вредности, снижающие качество воздушной среды (пыль и прочие примеси);

β - коэффициент, учитывающий тип зданий (для зданий непроизводственного назначения $\beta = 1$, а для промышленных зданий $\beta > 1$).

Определение уровня комфортности включает четыре этапа. На первом этапе устанавливают характеристики работ, выполняемых в обследуемом помещении; на втором измеряют температуру, относительную влажность воздуха, температуру поверхности одежды, подвижность воздуха, температуру ограждающих поверхностей, концентрацию углекислого газа в обследуемом помещении и в наружном воздухе; на третьем рассчитывают коэффициент теплового комфорта человека; на четвертом определяют поправки, учитывающие вредности зданий непроизводственного назначения, снижающие комфортность микроклимата.

Рассчитав коэффициент теплового комфорта $K_{ТК}$ и коэффициент качества воздушной среды $K_{ТС}$ - а также поправки ε_1 , ε_2 , и ε_3 на радиационное охлаждение, асимметрию теплового излучения и наличие дополнительных примесей, находят интегральный показатель микроклимата - уровень комфортности микроклимата по формуле (1).

Каждому численному значению уровня комфортности микроклимата в соответствие ставится характеристика субъективного ощущения комфорта у человека - степень комфортности. На основе [6, 7, 8] разработана таблица 1, в которой приведено соответствие уровня комфортности микроклимата и примерной оценки ощущения комфорта «среднестатистическим» человеком.

Таблица 1 - Уровень и степень комфортности микроклимата

$U_{ком}$	Степень комфортности	$U_{ком}$	Степень комфортности
1	2	3	4
$< -0,5$	холодно, дискомфорт	$0,1 \div 0,3$	тепло, но комфортно
$-0,5 \div -0,3$	прохладно, легкий дискомфорт	$0,30 \div 0,5$	тепло, легкий дискомфорт
$-0,3 \div -0,1$	прохладно, но комфортно	$0,5 <$	жарко, дискомфорт
$-0,1 \div 0,1$	комфортно		

До сих пор в полной мере не учтены параметры, влияющие на микроклимат. Так для определения коэффициента комфортности ε_1 , ε_2 не учтено количество теплоты, поступающее через светопрозрачные конструкции непосредственно на человека и избыточные тепловыделения от предметов и оборудования.

Выводы.

Широко известны способы определения комфортности микроклимата, включающие измерения и оценку отдельных его составляющих: температуры, подвижности, относительной влажности воздуха помещений, а также характеристик теплового излучения. Существенным недостатком данных способов является пренебрежение качеством воздуха, а также взаимным влиянием факторов микроклимата друг на друга и на организм человека.

Приведенный метод оценки показал необходимость комплексного учета параметров, характеризующих микроклимат при их взаимном влиянии друг на друга с учетом существенно изменившихся на сегодняшний день интерьерной обстановкой, планировкой помещений, качеством применяемых современных строительных и отделочных материалов.

Список литературы

1. Табунщиков Ю.А. Микроклимат и энергосбережение: пора понять приоритеты/ Ю.А. Табунщиков.-URL: http://www.homevent.ru/download/Microclimat_i_energoberejenie.pdf. Дата обращения 07.06.2014.
2. Пророкова М. В., Бухмиров В. В. Энергосбережение и качество микроклимата [Текст] /М. В. Пророкова, В. В. Бухмиров//Вестник Череповецкого государственного университета.- 2015.- №2.-С. 32-35.
3. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст].- Взамен ГОСТ 30494-96; введ. 2013-01-01.-М.: Стандартинформ, 2013.-11 с.
4. Пророкова М.В. Повышение эффективности энергосберегающих мероприятий с учетом комфортности микроклимата [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.14.04 / М.В. Пророкова.- Иваново.-2017.- 202 С.
5. Пат.2636807 Российская Федерация, МПК G05D 23/19. Способ оценки комфортности рабочей микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий [Текст] / М.В. Пророкова, В.В. Бухмиров; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина"; заявл. 29.06.2016; опубл. 28.11.2017, бюл. № 34; 1-9 с.
6. Кочетков. О.С. Расчет оптимальных параметров микроклимата рабочей зоны / О.С. Кочетков. СИ. Гетия. Л.Н. Скребкова // Вестник МГУПИ. - 2013. -№45.-С. 84-92.
7. Кочетов. О.С. Способ многокритериальной оценки комфортности рабочей зоны производственных помещений / О.С. Кочетов. М.О. Стареева. - М.: №2472134.

8. Лисиенко. В.Г. Интегрированный (обобщенный) энергетический анализ - теоретическая основа энергоэффективности и энергосбережения / В. Г. Лисиенко // Информационный научно-технический журнал. Строительные материалы, оборудование- технологии XXI века. 2004. - № 9 (68). - С. 14 - 16.

УДК 697.34

Монах Светлана Игоревна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехника,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Иванисова Валерия Вадимовна,
Возняк Денис Павлович,
магистранты гр. ЗТГВмб-49, кафедры
теплотехника, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В данной статье теоретически обосновывается метод определения тепловых потерь по падению температуры в теплопроводе, которое определяется как разность высот гребней сходственных тепловых полувогн на графиках, построенных для концевых сечений участка магистрали. Указанный метод основывается на математическом моделировании процесса распространения тепловой волны в трубопроводах при движении в них теплоносителя.

Ключевые слова: система теплоснабжения; теплопровод; тепловые потери; тепловая волна; конвективный теплообмен; теплопроводность; математическая модель; эволюция тепловой волны

Анализ и поиск способов разрешения проблемы снижения энергопотребления говорит о том, что уменьшение расхода топливно-энергетических ресурсов является основной научно-технической задачей. Наиболее эффективным способом ее решения является совершенствование уже существующих инженерных систем, а именно сокращение утечек тепловой энергии через теплоизоляционные оболочки зданий и сооружений, и теплоизоляцию тепловых сетей.

По опубликованным данным утечки тепловой энергии при доставке теплоносителя по существующим трубопроводам в настоящее время составляют 15-20%, что значительно превышает действующие нормы. В связи с этим, снижение потерь тепла в системах тепловых сетей является довольно насущной проблемой.

В разное время предлагались различные способы определения тепловых потерь в водяных тепловых сетях. Из современных методик следует отметить попытку определять тепловые потери по результатам тепловизионной съемки.

Представляет интерес метод, примененный Л.А. Гинтером для определения падения температуры в магистрали водяных тепловых сетей ГРЭС-3 в Ленинградской области (ныне Дубровская ТЭЦ-8 ОАО «ТГК-1»). Падение температуры определялось как разность высот гребней сходственных полувогн на графиках, построенных для концевых сечений участка магистрали. По сути, этот метод можно назвать методом «температурной волны», однако в те годы он не нашел должного теоретического и практического обоснования.

Изучение процесса распространения теплоты в трубопроводах тепловых сетей даст возможность разработать способ выявления потерь тепловой энергии при ее перемещении. Теоретические основы процессов тепломассообмена изложены в источниках [1, 2, 3, 4].

В основу определения потерь теплоты, кВт, на участке трубопровода положена известная зависимость

$$Q_{\text{пот}} = G_w \cdot c_p \cdot \Delta t_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где G_w – расход жидкости на рассматриваемом участке трубопровода, кг/с;

c_p – удельная теплоемкость жидкости, кДж/(кг · °С);

$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}$ - среднее значение падения температуры на рассматриваемом участке трубопровода, °C.

Расход жидкости определяется из уравнения сплошности потока:

$$G_w = F_{\text{тр}} v_w \gamma_w = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{l}{\tau_w} \cdot \gamma_w, \quad (2)$$

где $F_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения трубопровода, м²;

v_w – скорость жидкости, м/с;

γ_w – удельный вес жидкости, кг/м³.

Подставляя выражение (2) в (1), получим

$$Q_{\text{пот}} = 0,25 \pi d^2 \gamma_w c_p l \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{\tau_w}, \quad (3)$$

где d – внутренний диаметр трубопровода, м;

l – длина участка трубопровода, м;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – среднее значение падения температуры на рассматриваемом участке трубопровода, °C;

τ_w – продолжительность перемещения жидкости по ответвлению при движении со средней скоростью, с.

Из уравнения (3) следует, что основную трудность при определении теплотерь составляет определение величин $\Delta t_{\text{ср}}$ и τ_w .

Несложно убедиться в том, что если бы температуры и скорости во всех точках поперечного сечения потока имели практически одинаковые значения, то температурные волны в этих позициях совпадали бы между собой по схеме, продолжительности движения волны и жидкости по участку совпали бы по величине, и в этом случае $\tau_w = \tau_q$. Значит, в действительности $\tau_w \neq \tau_q$ и между ними имеет место зависимость $\tau_w = f(\tau_q)$.

Величина τ_q находится как расстояние между осями волн на графиках температур в первичном и конечном сечениях трубопровода.

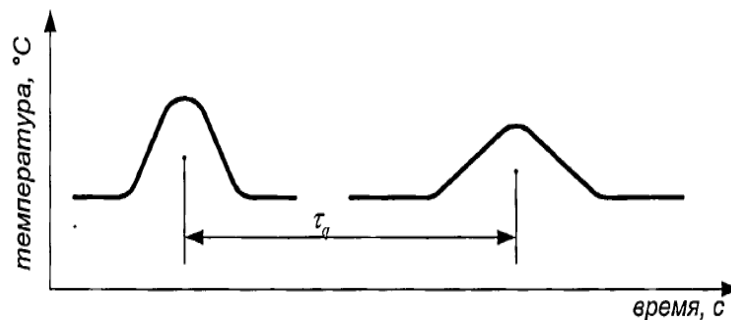


Рисунок 1 - Время прохождения температурной волны

Взаимообусловленность и взаимное влияние скоростного и температурного полей в настоящих условиях течения жидкости приводит к перемешиванию, которое сопровождается перераспределением температур. Это отражается на форме и положении во времени температурной волны в последнем сечении трубопровода, а значит, и на продолжительности передвижения температурной волны по участку теплотрассы, обуславливая некоторое расхождение τ_q и τ_w .

На конструкцию и расположение температурной волны оказывает влияние теплообмен между жидкостью и стенками трубопровода при нестационарном температурном режиме теплоносителя. Поэтому при увеличении температуры жидкости, поступающей на участок, нарастание температуры в последнем сечении участка не будет доходить до температуры в

начальном сечении также в связи с частичной аккумуляцией теплоты в стенках трубопровода при их нагреве.

$$\tau_q = \tau_w + \Delta\tau_q. \quad (4)$$

При снижении температуры жидкости, поступающей на участок, получается обратная картина: температура жидкости в конечном сечении участка будет опережать температуру в начальном сечении по причине, что стенки трубопровода при своем охлаждении будут отдавать жидкости поглощенную ею теплоту. Отмеченный фактор вызовет дополнительное отклонение τ_q от τ_w . На основании сказанного функцию $\tau_w = f(\tau_q)$ можно записать в следующем виде

$$\tau_w = \tau_q + \Delta\tau_q, \quad (5)$$

где $\Delta\tau_q$ – поправка, характеризующая отклонение продолжительности передвижения температурной волны от продолжительности перемещения теплоносителя, обусловленное общим воздействием факторов «перемешивания» и «аккумуляции» на характер и расположение температурной полуволны в конечном сечении потока.

Очевидно, что величина Δt_{cp} имеет связь со снижением средней температуры волны Δt_q на участке трубопровода $\Delta t_{cp} = f(t_q)$.

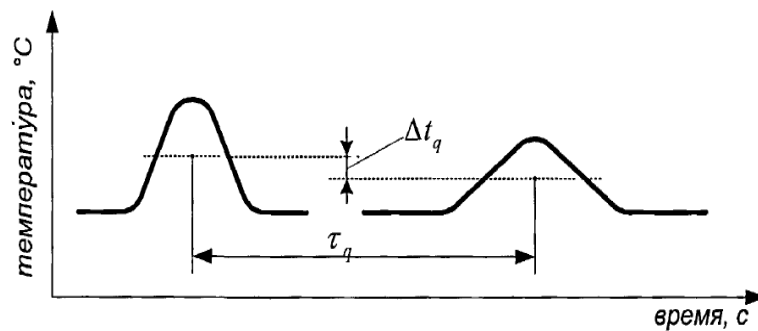


Рисунок 2 - Падение средней температуры волны

Размерность $\Delta\tau_q$ находится как разность средних температур схожих волн на графиках температур в первичном и конечном сечениях трубопровода.

Поскольку существует связь между падением температуры на участке, связанным с потерями теплоты через стенки трубопровода в атмосферу, и падением средней температуры волны на том же участке, то на основании соображений, аналогичных тем, которые были приведены при рассмотрении зависимости $\tau_w = f(\tau_q)$ можно принять, что при отсутствии воздействия факторов «перемешивания» и «аккумуляции» величины Δt_{cp} и Δt_q также связаны определенной зависимостью.

Влияние факторов «перемешивания» и «аккумуляции» обусловит расхождение Δt_{cp} и Δt_q . Обозначив это отклонение через $\delta\Delta t_q$, можно записать

$$\Delta t_{cp} = \Delta t_q - \delta\Delta t_q. \quad (6)$$

Определение τ_w и Δt_{cp} сопряжено с необходимостью исследования влияния факторов «аккумуляции», «перемешивания» и «теплопотерь» на течение температурной кривой в слое жидкости в целях выявления отклонений $\Delta\tau_q$ и Δt_q , которые входят в уравнения (5) и (3). Разрешение поставленных задач возможно при проведении исследований воздействия термических и гидромеханических условий истечения турбулентного потока теплоносителя в трубе на температурное поле, а также на характер и расположение температурной кривой в любом сечении потока при указанной ее форме в стартовом сечении. Подобные задачи описываются в теории квазистационарной теплопроводности, но с несколько другими целями.

Исследуем развитие теплообмена по длине трубы при воссоздании температурной волны. Во входном сечении температура жидкости отличается от температуры стенки трубы. По мере продвижения потока между жидкостью и стенкой происходит теплообмен, и температура жидкости изменяется. Вначале у входного сечения изменение температуры происходит только в тонкой части поверхности. По мере удаления от входного сечения, все большая доля потока увлекается в механизм теплообмена. У стенки трубы создается тепловой пограничный слой, толщина которого постепенно увеличивается.

Остановимся на следующих характеристиках, которые определяют тепловые и гидромеханические условия течения потока:

- а) турбулентное перемешивание;
- б) прогрев стенок трубопровода при изменении температуры жидкости (аккумуляция теплоты стенками трубы);
- в) теплопотери через стенки трубопровода во внешнюю среду.

Предварительно выявим предельный случай совместного воздействия явлений аккумуляции и турбулентного перемешивания, когда коэффициент поля скоростей равен единице; затем перейдем к более общему случаю - при коэффициенте поля скоростей меньше единицы, причем в обоих случаях потери тепла во внешнюю среду не учитываются. В заключение остановимся на самом общем случае совместного действия всех трех факторов.

Исследования проведем методом математического моделирования перемещения тепловых волн.

Теплопровод, представляющий собой трубу с закрепленным на ней слоем теплоизоляции, разделим параллельными сечениями, перпендикулярными его оси, на одномерный ряд одинаковых ячеек длиной Δy , в соответствии с рисунком 3. Их число $n = L/\Delta y$, а порядковый номер определяется целочисленным аргументом i .

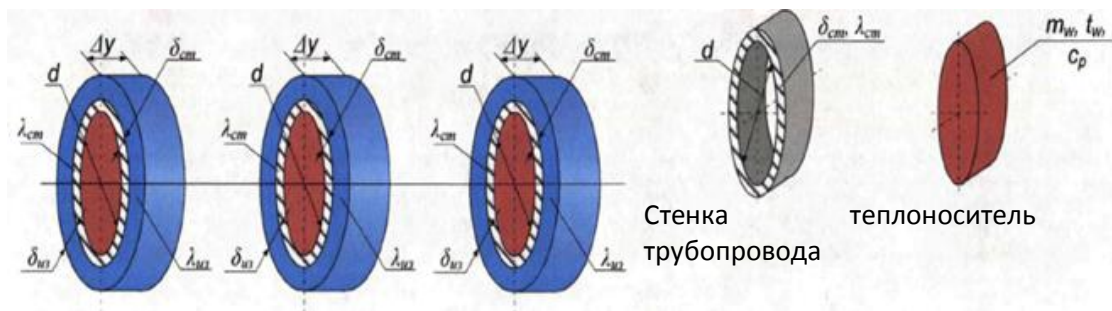


Рисунок 3 - Расчетная схема трубопровода

Полученная схема расчета представляет из себя две параллельные цепочки ячеек, наполненные средой теплоносителя (водой) и материалом стенки трубы (металлом) соответственно. Теплофизическое состояние жидкости и материала стенки трубы в ячейках может быть представлено векторами-столбцами вида

$$q_w = \{q_{wi}\}, \quad q_f = \{q_{fi}\}, \quad t_w = \{t_{wi}\}, \quad t_f = \{t_{fi}\} \text{ и т. д.}$$

где нижний индекс «w» относится к теплоносителю; «f» - к материалу стенки; $i=1, 2, \dots, n$ и размерность всех векторов равна $n \times x$.

Допустим, в некоторый момент времени τ_k тепловое состояние теплоносителя объясняется набором распределений q_w^k, t_w^k и т. д. Спустя отдельный промежуток времени $\Delta\tau_k$, за который возможен переход массы и теплоты только в соседние ячейки и не далее, k -е распределение перейдет в $(k+1)$ -е. В ходе такого представления время также становится целочисленным аргументом k - номером перехода (настоящие моменты времени рассчитываются как $\tau_k = k \cdot \Delta\tau_k$).

Теплота от теплоносителя к стенке трубы передаётся конвекцией, вдоль трубы — теплопроводностью, а от трубы в окружающую среду — также теплопроводностью (через слой теплоизоляции) и конвекцией с наружной поверхности теплоизоляции.

Для подобной задачи можно принять допущения о том, что температура стенки трубы неизменна по её толщине, теплота вдоль потока воды передаётся только конвекцией и «водяные» ячейки представляют собой ячейки совершенного смешения.

Начальное распределение температуры по длине трассы (в жидкости, трубе и теплоизоляции) возможно рассчитать для исходного потока, не возмущенного прохождением тепловой волны.

Тепловая волна характеризуется как кратковременное, происходящее в течении пары временных этапов/переходов k_v повышение температуры воды на входе в трубу. Значит, время, в течение которого в теплопровод проходит перегретый теплоноситель, можно найти как $k_v \cdot \Delta\tau$ где $\Delta\tau$ — так называемое «время перехода» или продолжительность одной временной части.

За продолжительность перехода $\Delta\tau$ в канале теплоносителя (в трубе) произойдут следующие изменения: вода отдаст часть теплоты ячейкам стенки трубы, в канал пройдет новая партия воды, и вода переместится по длине канала. Два первых события могут быть описаны посредством функции (вектора) источников:

$$m_{wf}^k = \begin{bmatrix} G_w^k \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, Q_{wf}^k = \begin{bmatrix} c_{wm} t G_w^k \Delta\tau \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где считается, что теплоноситель подается в первую ячейку. Если расход и температура воды неизменны, то постоянны и оба этих вектора. При воссоздании тепловой волны температура t_{win} растёт. Для изучаемого случая

$$\text{При } k \leq k_{win} \quad t_{win}^k = \begin{bmatrix} t_{win} \\ t_{win} \\ \dots \\ t_{win} \end{bmatrix}, \quad \text{а при } k > k_{win} \quad t_{win}^k = \begin{bmatrix} t_{w0} \\ t_{w0} \\ \dots \\ t_{w0} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где t_{win} — температура теплоносителя при генерации тепловой волны;

t_{w0} — номинальная температура теплоносителя.

Передвижение по длине канала, то есть вдоль соответствующей ему цепи ячеек, описывается переходной матрицей

$$M_w = \begin{bmatrix} 1-v_{w1} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ v_{w1} & 1-v_{w2} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & v_{w1} & 1-v_{w3} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_{w3} & 1-v_{w4} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1-v_{w(n-1)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & v_{w(n-1)} & 1-v_{wn} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где v_{wi} — доля массы рабочей среды в ячейке, переходящая в последующую по ходу движения ячейку за единичный временной переход (считается, что обратные переходы, связанные, к примеру, с турбулентностью, отсутствуют или бесконечно малы). Эта величина может быть

определена по формуле, которая также может быть описана в векторном виде для всех ячеек вместе.

$$v_{wi} = V_{wi} \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta y} = \frac{G_w \cdot \Delta\tau}{m_{wi}}, \quad (11)$$

Из физики процесса переходов вытекает, что элементы матрицы не могут быть отрицательными, а это накладывает ограничение на подбор времени перехода при определенном числе ячеек, которое следует из (11) при условии, что $v_{wi} \leq 1$:

$$\Delta\tau \leq \Delta y / V_{wi} \quad (12)$$

где V_{wi} – скорость воды.

Уравнения баланса массы и теплоты за единичный переход могут быть описаны следующими соотношениями:

$$\Delta Q^k = \alpha_c^k \cdot l \Delta y \cdot (t_w^k - t_f^k) \cdot \Delta\tau \quad (13)$$

$$m_w^{k+1} = M_w^k \cdot m_w^k + m_{wf}^k \quad (14)$$

$$\Delta Q^{k+1} = M_w^k \cdot Q_w^k + Q_{wf}^k - \Delta Q^k \quad (15)$$

$$t_w^{k+1} = \Delta Q^{k+1} / c_w \cdot m_w^{k+1} \quad (16)$$

где $l \Delta y$ – площадь поверхности теплоотдачи в отдельной ячейке;

α_c^k – вектор коэффициента конвективной теплоотдачи, который может отличаться от одного временного перехода к другому и от одной ячейки к другой.

В эту характеристику входит, однако, переменная температура ячеек стенки трубы t_f^k , которая должна рассчитываться по модели распространения теплоты в ней.

Распространение теплоты в стенке трубы посредством теплопроводности задается переходной матрицей

$$M_f = \begin{bmatrix} 1-d & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ d & 1-2d & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & d & 1-2d & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d & 1-2d & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1-2d & d \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & d & 1-d \end{bmatrix}, \quad (17)$$

где d – доля теплоты, переносимая путем теплопроводности в соседние ячейки из данной за один временной переход (λ_f – коэффициент теплопроводности материала стенки трубы;

a_f – коэффициент ее температуропроводности).

$$d = \frac{\lambda_f}{c_r \rho_r} \frac{\Delta\tau}{\Delta y^2} = a_f \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta y^2}. \quad (18)$$

Сама матрица M_f не предполагает потерю или получение теплоты, и сумма всех ее элементов по столбцам равна 1. Из условия не отрицательности ее элементов следует еще одно ограничение для выбора $\Delta\tau$.

$$\Delta\tau \leq \frac{1}{2} \frac{\Delta y^2}{a_f}. \quad (19)$$

Причем из двух $\Delta\tau$ по (12) и по (19) должно выбираться наименьшее.

Стенка трубы воспринимает теплоту от теплоносителя и передает её в окружающую среду через теплоизоляцию. Передача теплоты от стенки трубы в окружающую среду может быть описана следующим соотношением

$$\Delta Q_B^K = \frac{1}{R_t + R_0} \cdot \Delta y \cdot (t_f^k - t_0) \cdot \Delta\tau, \quad (20)$$

где R_t и R_0 – термические сопротивления 1 погонного метра тепловой изоляции и сопротивление теплоотдаче с наружной поверхности изоляции соответственно.

Таким образом, передача теплоты и изменение температуры в ячейках стен трубы задается матричными равенствами

$$Q_f^{k+1} = M_f \cdot Q_f^k + \Delta Q^k - \Delta Q_b^k, \quad (21)$$

$$t_f^k = Q_f^{k+1} / c_r \cdot m_f, \quad (22)$$

где принято, что теплофизические свойства материала стенки не зависят от температуры и неизменны, что определяет и постоянство матрицы M_f , а ΔQ^k рассчитывается по формуле (13).

Равенства (13÷16) и равенства (21÷22) являются полной расчетной моделью процесса в одномерном приближении, которая при существующем начальном состоянии системы позволяет рассчитывать изменение по времени уже распределенных в продольном направлении ее теплофизических характеристик. Справочные данные о теплофизических свойствах веществ приняты по [2]. На рисунке 4, приведены результаты численных исследований роста тепловой волны для части трубопровода длиной 530 м, размером 159×4,5 мм с смонтированным на нем слоем теплоизоляции толщиной 50 мм с теплопроводностью 0,055 Вт/м·К.

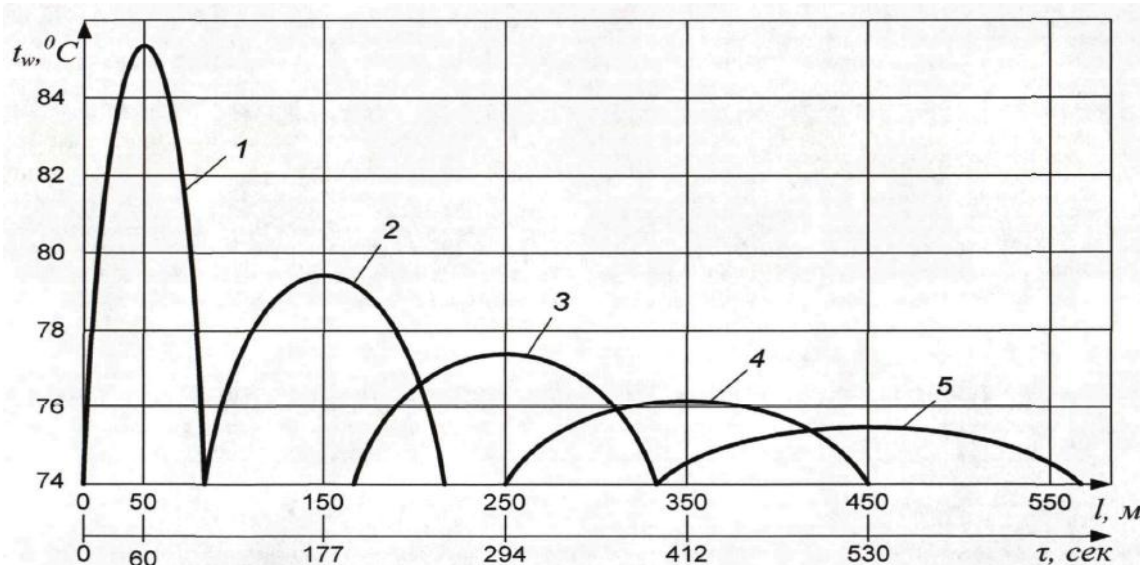


Рисунок 4 - Эволюция тепловой волны в теплоизолированном трубопроводе:

1 - через 60 с после генерации; 2-177 с; 3 -294 с; 4 - 412;
5 - 530 с (когда поток теплоносителя достиг конца участка).

Таким образом, получен математический аппарат, с помощью которого может быть определено остывание теплоносителя при его движении по теплопроводу, а значит потери теплоты этим теплопроводом.

Список литературы

1. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. – М: Машиностроение, 1988. – 280с.
2. Бакластов А.М. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник/ А.М. Бакластов В.А. Григорьев, В.М. Зорин // – М: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.
3. Исаченко В.П. Теплопередача: учеб: для вузов/ В.П. Исаченко и др. – изд 3-е пераб. и доп. – М: Энергия, 1975. – 488 с.
4. Кордон М.Я. Теплотехника: учеб. пособие. – Пенза: ПТУ, 2005. – 167 с.
5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена – изд. 5-е пераб. и доп. – М: Атомиздат. 1979. – 416 с.

УДК 621.56

Монах Светлана Игоревна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехника,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Коваленко Татьяна Владимировна,
Толубец Максим Геннадиевич,
магистранты гр. ЗТГВмб-49, кафедры
теплотехника, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ В ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМАХ

В данной статье рассмотрено применение эксергетического метода термодинамического анализа эффективности аккумулирования теплоты в теплоснабжающих системах. Целью данной работы является определение термодинамической и экономической эффективности систем отопления с аккумулированием теплоты.

Ключевые слова: система отопления, теплоаккумуляционная система электроотопления, эксергетический метод, эксергия топлива, эксергия потока работы, эксергия потока теплоты, эксергия продукта, эксергетический КПД, термоэкономический анализ эффективности

Современная система отопления (СО) с аккумуляцией теплоты представляет собой технический комплекс со сложной системой технологических связей.

Даже приближение основных выбранных характеристик этой системы к оптимальным обеспечивает, как показали многочисленные исследования многих авторов, высокий экономический эффект и, что немаловажно, повышает надежность системы.

Известно, что в последние десятилетия в энергетике, теплотехнике, химической технологии и др. отраслях получил широкое распространение новый метод термодинамического анализа – эксергетический [2, 3].

В отличие от других методов термодинамического анализа, в эксергетическом методе учитывается не только количество, но и качество потоков энергии, что делает этот метод более перспективным и объективным.

Во-первых, особенностью эксергетического метода является его универсальность, связанная с тем, что понятие эксергии позволяет оценивать потенциал и потоки всех видов энергии, входящих в баланс любой энерготехнологической системы, посредством единого критерия термодинамической эффективности.

Во-вторых, этому методу присуща простота и наглядность способов анализа и расчета.

В-третьих, весьма важной особенностью эксергетического метода является связь между эксергетическими и технико-экономическими характеристиками систем. Экономические исследования на базе эксергетического анализа охватывают широкий круг вопросов от оптимизации тарифов на энергию до цен на различные установки и товары. Такой метод оценки эффективности, в отличие от технико-экономического, можно назвать термоэкономическим.

Эксергетический метод термодинамического анализа процессов и установок оперирует только «работоспособной» (пригодной, превращаемой) частью энергоресурсов (потоков работы, теплоты, массы рабочих тел).

Уравнения эксергетического баланса основаны на совместном использовании первого и второго законов термодинамики и, по существу, выражают принцип убывания эксергии изолированной системы при протекании в ней необратимых процессов.

Мерой необратимости процессов, как известно, выступают потери эксергии

$$\Pi = T_0 \Delta S_{\Sigma} \geq 0, \quad (1)$$

где T_0 - температура окружающей среды, К;

ΔS_{Σ} - суммарное изменение энтропии изолированной системы.

Для обратимых процессов в термодинамической системе $\Pi = 0$.

Для реальных (необратимых) процессов ($\Pi > 0$) уравнения эксергетического баланса могут быть выражены

$$E_{\Sigma}^{BX} = E_{\Sigma}^{BЫX} + \Pi \quad (2)$$

где E_{Σ}^{BX} , $E_{\Sigma}^{BЫX}$ — суммарные эксергии всех потоков энергоресурсов на входе и выходе из системы.

При рассмотрении систем отопления необходимо учитывать следующие виды эксергии [3].

По определению эксергия потока работы E_N равняется самой работе N

$$E_N = N = m \cdot l_{\text{тех}}, \quad (3)$$

где m - массовый расход рабочего тела;

$l_{\text{тех}}$ - удельная техническая работа (для систем отопления — это электроэнергия).

Эксергия теплового потока E_{Φ} зависит не только от теплового потока Φ , но и от температурного фактора ε

$$E_{\Phi} = \varepsilon \Phi = \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \Phi \quad (4)$$

где T_0 - температура окружающей среды, К;

T_H — средняя термодинамическая температура соответствующего теплового источника, К.

Этот вид эксергии представляется особенно важным, поскольку позволяет четко различать «термодинамическую ценность» потоков теплоты, отданных отопительной системой и полученных воздухом в отапливаемом помещении.

Эксергия потока (например, горячей воды в СО) рабочего тела E отсчитывается от состояния его равновесия (теплового и механического) с окружающей средой.

$$E = m \cdot [(h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0)], \quad (5)$$

где h , s - соответственно удельные энтальпия и энтропия рабочего тела в данном состоянии;

h_0 , s_0 - соответственно удельные энтальпия и энтропия рабочего тела при температуре T_0 и давлении окружающей среды p_0 .

Удельную эксергию различных топлив в СО (первичных энергетических ресурсов) $e_{\text{пер}}$ (e_{IAD}) можно оценить по приближенным формулам, приведенным в [3].

При этом эксергия потока первичных энергоресурсов

$$E_{\text{IAD}} = B \cdot e_{\text{IAD}} \quad (6)$$

где B - расход топлива.

Рассмотрим СО, состоящую из m элементов ($i = 1, 2, \dots, m$) и содержащую n эксергетических потоков E_j , ($j = 1, 2, \dots, n$).

Для расчета потерь эксергии в i -м элементе с учетом (2)

$$\Pi_i = E_i^{BX} - E_i^{BЫX} \quad (7)$$

Поскольку современные СО - многокомпонентные объекты со сложными технологическими связями, то термодинамические расчеты таких систем лучше проводить на ЭВМ, например, в программной среде Microsoft Excel.

Величины потоков эксергии для каждого из элементов СО могут быть легко рассчитаны по формулам (3 – 5) в зависимости от вида потока (работа, теплота, поток массы). После чего простым суммированием «входов» и «выходов» находятся E_i^{BX} , $E_i^{BЫX}$.

Изложенный выше подход позволяет рассчитывать эксергетические потери Π_i и служит основой для построения автоматизированной процедуры термодинамического анализа и оптимизации системы отопления с аккумулированием теплоты.

Вместе с тем, чисто эксергетические характеристики могут использоваться в виде критерия оптимальности (целевой функции) только в случае параметрической оптимизации СО (при этом капитальные и другие связанные с ними затраты практически неизменны), поскольку учитывают, хотя и объективно с термодинамической точки зрения, но только энергетическую составляющую затрат на функционирование системы.

В общем случае оптимизации - при изменении параметров, структуры и поэлементного состава СО, необходим учет и других (не только энергетических) технико-экономических характеристик системы.

В этом случае целесообразно применение термoeкономического принципа, который широко использует экономические характеристики, заложенные в эксергетической оценке функционирования систем, а, следовательно, не уступает по объективности и общности технико-экономической оценке (в этом сходство термoeкономической оценки с технико-экономической).

С другой стороны, термoeкономический принцип оценивает энергетику системы с эксергетических позиций, а, следовательно, более глубоко и полно характеризует работу системы (в этом существенное отличие термoeкономической оценки от технико-экономической).

В общем случае термoeкономический критерий оптимальности имеет вид [3]

$$z_{\Sigma} = \left(\frac{\sum_n C_n P_n + \overline{K_n}}{\sum_k e_k} \right), \quad (8)$$

где C_n, P_n - стоимость и годовое потребление эксергии из внешних источников;

$\overline{K_n}$ - годовые капитальные и другие, связанные с ними затраты в n -м элементе;

e_k — годовой расход эксергии для получения k -го продукта.

Выражение (8) принимает более простой вид для ряда частных случаев.

Например, для установки, выдающей один продукт заданного качества

$$Z_{\Sigma} = \min \left(\frac{\sum_n C_n P_n + \sum_n \overline{K_n}}{b} \right), \quad (9)$$

где b — выход продукта.

Очевидно, что системы отопления с аккумулярованием теплоты относятся именно к последнему виду, поскольку температура воздуха в отапливаемом помещении является величиной неизменной (качество потока теплоты не меняется).

Таким образом, задача оптимизации в общем случае может быть сведена к поиску экстремума функции: $Z_{opt} = \min Z_{\Sigma}$

Или для параметрической оптимизации по величине потерь эксергии: $P_{opt} = \min P_{\Sigma}$.

Численные исследования термодинамической и экономической эффективности теплоаккумуляционной системы электроотопления (ТСЭ) проведены для СО школы в сельской негазифицированной местности. В качестве альтернативных вариантов систем отопления рассмотрены варианты электрообогрева с ТСЭ и водяного отопления с секционным котлом типа «Универсал-5М», работающем на угле. Уголь в качестве органического топлива принят как актуальный энергоноситель для условий Донбасса.

Характеристики типового помещения школы и режимные параметры технологии электрообогрева приведены в табл. 1.

Школа (на 162 ученика по типовому проекту) – двухэтажное здание общей площадью $F = 1467,6 \text{ м}^2$ расположена в Донбассе. Соответственно проведенному расчету, тепловые потери данного школьного здания составляют $Q_{пот} = 120 \text{ кВт}$ при расчетной температуре внутреннего воздуха 16°C .

Основные технико-экономические показатели систем отопления рассчитаны по известной методике расчета систем отопления и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные расчетные технико-экономические показатели системы водяного отопления и электроотопления с ТСЭ

Наименование параметра	Единица измерения	Вид отопления	
		ТСЭ	Водяное, на угле
1	2	3	4
Длительность отопительного периода	Сутки	176	176
Среднее количество рабочих дней в месяце	Сутки	21,4	21,4
Площадь отопления	м ²	1500	1500
Расчетная температура внутреннего воздуха	°С	16	16
Средняя температура отопительного периода	°С	- 0,5	-0,5
Расчетная температура наружного воздуха	°С	-22	-22
Расчетные потери теплоты	кВт	120	120
КПД отопительного оборудования	%	97,5	67
Средняя температура жилы кабеля	°С	50,23	
Низшая теплота сгорания угля	МДж/кг		12
Стоимость базового энергоносителя (каменный уголь после грохота)	руб./т		2800
Стоимость угля для освещения	руб./т		2800
Стоимость электрической энергии, льготный тариф на 1.10.2017	руб./кВт-час	0,58	0,58
Стоимость оборудования	тыс. руб.	756	920
Ежегодные амортизационные отчисления	тыс. руб.	46,1	56,1
Оплата труда обслуживающего персонала:			
- месячная заработная плата истопника	руб.	0	7500
- за весь отопительный период	руб.	0	48750
Необходимое количество угля	кг		154364
Необходимое количество угля для освещения	кг		7718,18

Тепловая мощность котла типа «Универсал-5М», на каменном угле составляет 0,12 МВт.

Необходимый расход угля на освещение приблизительно 5% от общего количества топлива.

Энергоотопительное оборудование, по согласованию с предприятием электрических сетей, потребляет электроэнергию в часы ночного минимума графика нагрузок электросетей с обязательным отключением или снижением тепловой нагрузки в часы утреннего и вечернего максимума энергопотребления (с 7 до 10 и с 18 до 21 часа).

Применение термоэкономического подхода в соответствии с критерием (9) требует определения эксергетических потерь для каждого из рассматриваемых вариантов.

Сравнение основных эксергетических и термоэкономических показателей рассматриваемых систем отопления выполнено по приведенной выше методике и приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Основные эксергетические и термoeкономические показатели систем водяного отопления и электроотопления с ТCЭ

Наименование	Единица измерения	Вид отопления	
		ТCЭ	Водяное, уголь
1	2	3	4
Эксергии топлива	МДж		$1,94 \cdot 10^6$
Эксергии продуктов сгорания в котле	МДж		$1,44 \cdot 10^6$
Потери эксергии процесса горения	МДж		$0,5 \cdot 10^6$
Эксергия горячей воды в котле	МДж		$0,268 \cdot 10^6$
Потери эксергии процесса теплообмена в котле: продукты сгорания - горячая вода	МДж		$0,5 \cdot 10^6$
Эксергии теплоты, отводимой от жилы кабеля	МДж	$0,305 \cdot 10^6$	
Эксергия воздуха в отапливаемых помещениях	МДж	$0,115 \cdot 10^6$	$0,115 \cdot 10^6$
Потери эксергии процесса отопления	МДж	$0,190 \cdot 10^6$	$0,157 \cdot 10^6$
Суммарные потери эксергии	МДж	$0,190 \cdot 10^6$	$1,83 \cdot 10^6$
Эксергетический КПД системы отопления	%	36,7	6
Стоимость годовых энергетических затрат	руб.	110000	183000
Стоимость годовых неэнергетических затрат	руб.	48000	104910
Годовые термoeкономические затраты	руб.	158000	287910

Анализ приведенных в таблице данных позволяет заключить, что вариант электроотопления не только энергетически более эффективен (эксергетический КПД в шесть раз выше), но и требует меньших годовых финансовых затрат по сравнению с вариантом водяного отопления, работающего на угле.

К достоинствам электроотопления относится также его экологичность и более высокая надежность, что дает веское основание для выбора именно этого варианта отопления.

В общем случае системы электроотопления целесообразно внедрять в такой местности, которая с одной стороны, является проблемной с точки зрения газоснабжения, а с другой стороны, у нее имеется или предусматривается наличие в обозримом будущем резерв электроэнергии.

Список литературы

1. Ададуров Е.А. Теплоотдача электроаккумулирующей системы отопления / Е.А. Ададуров, Л.Ф. Черных // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы третьей межвузовской научной конференции; Краснодар, КубГАУ, 8-9 апреля 2004. С 39 - 43.
2. Андреев Л. Термодинамический анализ энерготехнологических систем на ЭВМ / Л. Андреев, В. Никульшин // - Киев. 1992. – С. 39-43.
3. Бродянский В. Эксергетический метод и его приложения / В. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек // – М: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. Левенберг В.Д. Аккумуляция тепла / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем // - Киев: Техника, 1991. С. 49–74.

УДК 562. 987

Ковальчук Елена Игоревна,
студент группы мТГВ-49 кафедры теплотехники,
теплогазоснабжение и вентиляции;
Олексюк Анатолий Алексеевич,
кандидат технических наук,
профессор кафедры теплотехники,
теплогазоснабжение и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

СОЛНЦЕ - БЕСКОНЕЧНО МОЩНЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ БУДУЩЕГО

Рассмотренна проблема человечества - кризис энергетических ресурсов. При этом уделяется внимание нетрадиционным источникам энергии, а также области применения солнечной энергии, которую авторы статьи считают оптимальной в плане задач по обеспечению человечества энергией

Ключевые слова: энергетический кризис, альтернативная энергетика, солнечная энергия

Вопрос энергетического будущего мира в целом, резком истощение невозобновляемых источников энергии и применении альтернативных (нетрадиционных) источников. Эта проблема носит как экологический, так и экономический характер. Решение ее приведет к улучшению экологической обстановке и к повышению энергоэф.

Исследования в области использования возобновляемых источников энергии ведутся непрерывно во всем мире. Повышенное внимание к использованию возобновляемых источников энергии связано с возможностью сохранить и заменить истощенные природные ресурсы, а так же улучшить экологическую картину нашей планеты.

Истощение природных ресурсов и широкое развитие нетрадиционной энергетики привело нас к необходимости, проанализировать наиболее распространенные из них, определить самые эффективные, рассмотреть влияние возобновляемых источников энергии на окружающую среду [1].

В настоящее время наиболее актуальной проблемой человечества можно считать вопрос энергетического будущего мира в целом. В средствах массовой информации часто появляется статьи об энергетическом кризисе. Казалось бы, решение этой проблемы просто: больше электростанций - больше энергии. Однако для этого необходимо использовать больше топлива, которое добывается из природных запасов, которые не бесконечны. Мировые запасы природных энергоносителей расходуются гораздо быстрее, чем образуются новые залежи в недрах Земли, а сама добыча природных ископаемых наносит огромный вред экологии планеты. Сейчас ученые мира занимаются поисками новых источников энергии, которые могли бы не только сохранить и заменить истощенные природные ресурсы, но и улучшить экологическую картину нашей планеты.



Рисунок 1 - Прогноз мирового энергопотребления 2020

Возобновляемая энергетика во всем мире завоевывает рынок, и ценовое давление в паре с государственной поддержкой становятся факторами, формирующими тариф. Широкое использование альтернативных источников энергии крайне важно для всего человечества, независимо от мест проживания и близости к действующим энергоресурсам.

Причины этого:

- чем больше источников энергии, тем меньше загруженность магистральных линий;
- состояние многих электростанций требует срочной модернизации, реконструкции или ремонта. Срок службы многих сооружений подходит к концу, вынуждая задумываться о способах замещения старых источников новыми;
- возможность иметь свой, независимый источник электроэнергии освобождает пользователя от зависимости от ресурсоснабжающих компаний,
- экологическая чистота альтернативных источников намного предпочтительнее, чем опасность радиоактивных загрязнений или прорыва плотины с непредсказуемыми последствиями.

Многие страны разрабатывают планы по развитию возобновляемых источников энергии. Например, в Европейском союзе приняты и реализуются такие программы, как Энергетическая стратегия до 2050 года (EU 2050 Energy Strategy). Программа ЕС по энергетике и изменению климата до 2030 года (EU 2030 Climate and Energy Framework), Пакет мер ЕС по энергетике и изменению климата до 2020 года (EU 2020 Climate and Energy Package). Директива по возобновляемой энергетике, Система торговли разрешениями на выбросы (EU ETS) и другие.

Программы направлены на повышение и снижение выбросов парниковых газов, в первую очередь за счет «неуглеводородной» экономики. Долю ВИЭ планируется увеличить до 70% к 2050 году.

Из стран Европы стоит выделить Германию, которая в связи с отказом от атомной энергетики к 2022 году и угольной - к 2038 году активно развивает проекты солнечной и ветровой генерации и использования биомассы. Долю ВИЭ в производстве электроэнергии планируется увеличить до 65% к 2030 году.

В Дании на ветроэлектростанциях производится 43% от общего объема электроэнергии, при этом планируется дальнейшее увеличение объемов использования при производстве электроэнергии: к 2030 году до 50%, а к 2050-му - до 100%.

Китай является мировым лидером по инвестициям в «зеленые» технологии в энергетике и по производству солнечных батарей. Правительство Китая утвердило План по увеличению использования ВИЭ, согласно которому генерирующая мощность солнечных станций должна достичь 110 ГВт, а ветряных - 210 ГВт (по пересмотренному в 2016 году плану). В прошлом году Китай заявил о цели в 35% потребления электроэнергии на основе ВИЭ к 2030 году.

В Индии 70% энергобаланса приходится на уголь, однако программа развития ВИЭ предусматривает показатель в 175 ГВт установленной мощности к 2022 году, из них 100 ГВт

будут приходиться на солнечные и 60 ГВт - на ветровые электростанции. Также Индия планирует построить первую в мире плавающую солнечную электростанцию.

Согласно данным Федеральной комиссии по регулированию в области энергетики США (FERC) ВИЭ обеспечивают 20,66% от общего объема энергопотребления в стране. В целом США обладают достаточно большим потенциалом развития солнечной и ветровой энергетики. Во многих штатах установлены цели по увеличению доли ВИЭ в производстве электрической энергии. В прошлом году пять штатов заявили о своем желании перейти полностью на ВИЭ - например, штат Колорадо планирует перейти на 100% ВИЭ к 2040 году.

По экономическим, экологическим критериям и показателям безопасности наиболее перспективной из них является солнечная энергия.

Солнце является самым мощным возобновляемым источником энергии нашей планеты: количество энергии, падающее на поверхность земли от солнца за день, превосходит мировое потребление за год, Солнечная энергия может использоваться как для производства электроэнергии, так и для обогрева и освещения производственных помещений, обогрева воды. Являясь экологически чистым возобновляемым источником энергии не выделяющим двуокись углерода и не зависящая энергетика от ископаемых ресурсов.

Наше Солнце — это огромный светящийся газовый шар, внутри которого протекают сложные процессы и в результате непрерывно выделяется энергия. Энергия является источником жизни на нашей планете. Благодаря солнечной энергии дуют ветры, осуществляется круговорот воды в природе, нагреваются моря и океаны, развиваются растения, животные имеют корм. Именно благодаря солнечному излучению на Земле существуют ископаемые виды топлива. Солнечная энергия может быть преобразована в теплоту или холод, движущую силу и электричество.

Солнце излучает огромное количество энергии - приблизительно $1,1 \times 10^{20}$ кВт·ч в секунду. Киловатт час - это количество энергии, необходимое для работы лампочки накаливания мощностью 100 Вт в течение 10 часов, Внешние слои атмосферы перехватывают приблизительно одну миллионную часть энергии, излучаемой Солнцем, или приблизительно 1500 квадрильонов (1,5 всей энергии, или приблизительно 700 (7×10^{17}) кВт·ч, достигает поверхности Земли. Остальные 30% солнечной энергии отражается обратно в космос, примерно 23% испаряют воду, 1% энергии приходится на волны и течения и 0,01% - на процесс образования фотосинтеза в природе [2].

Почему Солнце светит и не остывает уже миллиарды лет? Какое «топливо» дает ему энергию? Ответы на этот вопрос ученые искали веками, и только в начале XX века было найдено правильное решение. Теперь известно, что как и другие звезды, светит благодаря протекающим в его недрах термоядерным реакциям.

Если ядра атомов лёгких элементов сольются в ядро атома более тяжелого элемента, то масса нового окажется меньше, чем суммарная масса тех, из которых оно образовалось. Остаток массы превращается в энергию, которую уносят частицы, освободившиеся в ходе реакции. Эта энергия почти полностью переходит в тепло. Такая реакция синтеза атомных ядер может происходить только при очень высоком давлении и температуре свыше 10 млн, градусов. Поэтому она и называется термоядерной.

Основное вещество, составляющее Солнце. - водород, на его долю приходится около 71% всей массы светила. Почти 27% принадлежит гелию, а остальные 2% - более тяжелым элементам, таким как углерод, азот, кислород и металлы. Главным «топливом» Солнца служит именно водород. А из каждого грамма водорода, участвующего в реакции, выделяется $0,101$ Дж энергии!

Солнце обеспечивает нас в 10 000 раз большим количеством бесплатной энергии, чем фактически используется во всем мире. Только на мировом коммерческом рынке покупается и продается чуть меньше 85 триллионов ($8,5 \times 10^{13}$) кВт·ч энергии в год. Поскольку невозможно проследить за всем процессом в целом, нельзя с уверенностью сказать, сколько

некоммерческой энергии потребляют люди (например, сколько древесины и удобрения собирается и сжигается, какое количество воды используется для производства механической или электрической энергии). Некоторые эксперты считают, что такая некоммерческая энергия составляет одну пятую часть всей используемой энергии. Но даже если это так, то общая энергия, потребляемая человечеством в течение года, составляет только приблизительно одну семитысячную часть солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли в тот же период.

В развитых странах, например, в США потребление энергии составляет примерно 25 триллионов ($2,5 \times 10^{13}$) кВт·ч в год, что соответствует более чем 260 кВт·ч на человека в день. Данный показатель является эквивалентом ежедневной работы более чем ста лампочек накаливания мощностью 100 Вт в течение целого дня. Среднестатистический гражданин США потребляет в 33 раза больше энергии чем житель Индии, в 13 раз больше, чем китаец, в два с половиной раза больше, чем японец и вдвое больше, чем швед [3].

Практическая задача, стоящая перед разработчиками и создателями различного вида солнечных установок, состоит в том, чтобы наиболее эффективно "собрать" этот поток энергии и преобразовать его в нужный вид энергии (теплоту, электроэнергию) при наименьших затратах на установку и эксплуатацию. Для этого были созданы такие устройства, как солнечные батареи и коллекторы. Батареи преобразуют солнечную энергию в электрическую. А коллекторы преобразуют солнечную энергию в тепловую энергию. Есть также модели, совмещающие эти два вида. Они называются *гибридными*.

Ранее Электровести сообщали, что в 2018 году рынок солнечной энергетики ЕС вырос на 36%. По оценкам экспертов, в 2019 году отрасль вырастет еще больше.

Привлекательность солнечной энергетики обусловлена рядом обстоятельств:

- солнечная энергия доступна в любом районе круглый год;
- солнечная энергия - единственный источник, позволяющий использовать его во все возрастающих масштабах без негативного влияния на окружающую среду;
- солнечная энергия ничего не стоит, экологически чистая, позволяет экономить исчерпаемые источники энергии (газ, уголь, нефть);
- солнечная энергия - практически источник энергии, который будет доступен и через мил лет.

Недостатками использования солнечной энергии естественные колебания солнечной активности - изменение продолжительности светового дня в течение года.

Отрицательные воздействия энергоустановок:

- использование больших по масштабу площадей, что связано с возможной деградацией земель и изменением микроклимата в районе расположения станции.
- использование «хлористых» технологий получение «солнечного» кремния.

Однако в мире в стадии опытно-промышленного производства находятся бесхлорные экологически чистые технологии. Их широкое внедрение обеспечит, безусловно, экологическую чистоту фотоэлектрических станций и установок.

Оценки прямых социальных расходов, связанных вредным влиянием традиционных электростанций, учитывая болезни и снижения продолжительности жизни людей, оплату медицинского обслуживания, потери на производстве, снижение урожая, возобновления лесов и ремонт домов в результате загрязнения воздуха, воды и грунта дают величину, которая добавляет около 50% к уже имеющимся мировым ценам на топливо и энергию. В сущности, это расходы всего общества - "экологический налог", что уже, неявно и очень давно, платят граждане своим здоровьем и личными расходами за несовершенство энергетических установок, и этот "полог" наконец должен быть осознан всем человечеством. Потому использование экологически чистых источников энергии на сегодняшний день — это не пустой звук.

Таблица 1 - Вредные выбросы при производстве энергии на традиционных ТЭС

Вид вырабатываемой энергии	Вредные выбросы					
	SO ₂ , т	NO _x , т	CO ₂ , т	Зола, шлак, т	Тепловое загрязнение, МДж×10 ⁶	Потребление кислорода, т
1	2	3	4	5	6	7
1. Электрическая энергия (на 1000 МВт·ч)	31,8	3,0	870,0	73,0	6...8	633,0
2. Тепловая энергия (на 1000 Гкал)	18,0	1,7	492	41	3...4	358,0

Таблица 2 - Вредные выбросы при производстве энергии на нетрадиционных источниках
энергии(г/кВт·ч)

Электростанции	SO ₂	CO ₂	NO _x
Солнечные фотоэлектростанции	98-167	0,20-0,34	0,18-0,30
Солнечные тепловые станции	26-380,13-0,27	0,13-0,27	0,06-0.13
Ветровые электростанции	14,9	0,02-0,09	0,02-0,06

Как развивается нетрадиционная энергетика в Украине

Началом активного развития возобновляемой энергетики в Украине можно считать 2009 год, когда был принят первый закон о зеленом тарифе. Альтернативная энергетика в Украине получила дополнительный импульс развития после обновления законодательной базы в 2015 году.

Украина имеет хорошие перспективы для развития альтернативной энергетики. Климат Украины очень благоприятен для развития солнечной энергетики – большое количество солнечных дней сочетается с относительно невысокими температурами (при повышении температуры происходит нагрев поверхности солнечных панелей, что приводит к снижению объемов генерации электроэнергии).

С начала 2015 года мощность объектов возобновляемой электроэнергетики которым установлен "зеленый" тариф, увеличилось на 1300 МВт, если в 2015 году было введено 32 МВт, то уже в 2016 — более 130 МВт

В 2017-м году выработка энергии в Украине, полученной из альтернативных источников, составила порядка 2 ГВт — это 1,2% от общего энергетического баланса страны. При этом непосредственно баланс солнечной энергетики достиг 211 МВт.

В 2018 году в Украине появились 163 солнечные электростанции, что является рекордом по темпам установки новых мощностей, которые генерируют зеленую" электроэнергию. Об этом сообщила пресс-служба Государственного агентства по энергоэффективности и энергосбережению Украины.

По информации источников СМИ, мощность всех введенных в прошлом году СЭС суммарно составляет около 850 МВт, что почти в 3 раза больше, чем за весь 2017 год. В частности в 2018 году были введены в эксплуатацию 163 СЭС общей мощностью 645,6 МВт, 10 ветряных электростанций (ВЭС) общей мощностью 67,7 МВт. Кроме того, были введены 4440 СЭС частных домохозяйств общей мощностью 106 МВт.

По сообщению руководства НЭК, к 2022 году в Украине планируется соорудить объекты возобновляемой генерации общей мощностью 6500–7000 МВт. Из них доступными для работы будут порядка 4500–4700 МВт (с учетом коэффициента вероятностной загрузки ВИЭ в энергосистеме на уровне 75%).

Выводы.

1. Сравнивая экологические показатели различных видов энергии, можно сделать вывод, наименьший ущерб на экологию при получении энергии происходит при использовании возобновляемых источников.

2. Значительное обострение взаимосвязанных энергетических и экологических проблем (дефицит энергоносителей, проблема глобального потепления и изменение идеологии развития энергетики) обусловило принципиально новое значение альтернативной энергетики, выводе ее из ряда перепективных эксклюзивных направлений в ряд первоочередных жизненно важных задач. Энергетический потенциал солнечной энергии - количество энергии, которую целесообразно использовать с целью замещения традиционных топливно-энергетических ресурсов, учитывая при этом следующие факторы: экономический, экологический, технологические, социальные и политические.

3. Ресурсы солнечной энергии практически неограниченны.

Список литературы

1. Куашнинг Ф. Системы возобновляемых источников энергии. Технологии. Расчеты. Моделирование: Учебник / Ф. Куашнинг. —М: Астана, 2013. — 432 с.
2. Пачурин Г.В., Соснина Е.Н. Экологическая оценка возобновляемых источников энергии/ Г.В.Пачурин. -М.: Лань, 2017. - 226с.
3. Зеленцова Ж. Общемировые перспективы развития солнечной энергетики/ Ж. Зеленцова// «Геологический клуб» при поддержке геологического музея В.И.Вернадского Российской Академии наук. 04.09.2012. № 3. С. 6-8.

УДК 697.32

Котов А.А., Шабрацкий С.М.
магистранты кафедры вентиляции,
теплогазо- и водоснабжения;
Гусенцова Яна Алимовна,
д.т.н., профессор кафедры вентиляции,
теплогазо- и водоснабжения
ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В. Даля»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Приведен анализ причин неудовлетворительного состояния воздушной среды в многоэтажных жилых зданиях. На основании проведенных исследований производительности естественной вентиляции жилого здания обосновано применение механической вентиляции в многоэтажных жилых зданиях. Разработана упрощенная математическая модель вентиляционного процесса в многоэтажных жилых зданиях. Приведена методика расчета воздухообмена в помещениях, результаты ее апробации, подтверждена адекватность полученной математической модели.

Ключевые слова: микроклимат, воздухообмен, многоэтажное здание, математическая модель, методика расчета, адекватность, технико-экономическое обоснование

Проблема комплексного изучения воздухообмена в отдельных помещениях 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 оценки перемещения воздушных потоков через помещения или их выделенные объемы основываются на целом ряде упрощений и предположений, которые в недостаточной мере учитывают реальность процесса [4, 6, 7]. Прежде всего, это касается многоэтажных зданий, в которых есть дополнительные возможности перетекания воздушных потоков из нижних этажей в верхние [1, 3].

В результате 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, инфильтрующегося через неплотности наружных и внутренних ограждений помещений, который в отдельных случаях может существенно влиять на воздухообмен помещений [5, 7]. 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 прогнозировать уровень комфортности микроклимата в отдельных помещениях квартир и других помещений в зависимости от климатических условий и технико-эксплуатационных показателей здания.

На протяжении нескольких лет в России и других странах Европы были проведены анкетные исследования качества микроклимата помещений жилых зданий, 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%. Обобщенный процент недовольных микроклиматом помещений составляет более 50% респондентов [2, 5].

Характерной является также вероятная связь количества проявлений болезненных симптомов с проживанием респондентов в исследуемых зданиях.

В настоящее время, в большинстве жилых домов предусмотрена естественная вентиляция помещений с использованием стеновых каналов для оттока загрязненного внутреннего воздуха из отдельных помещений, а также с притоком наружного воздуха через форточки, откидные фрамуги и неплотности окон. Эта вентиляция является зависимой 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 в соответствии с рисунком 1.

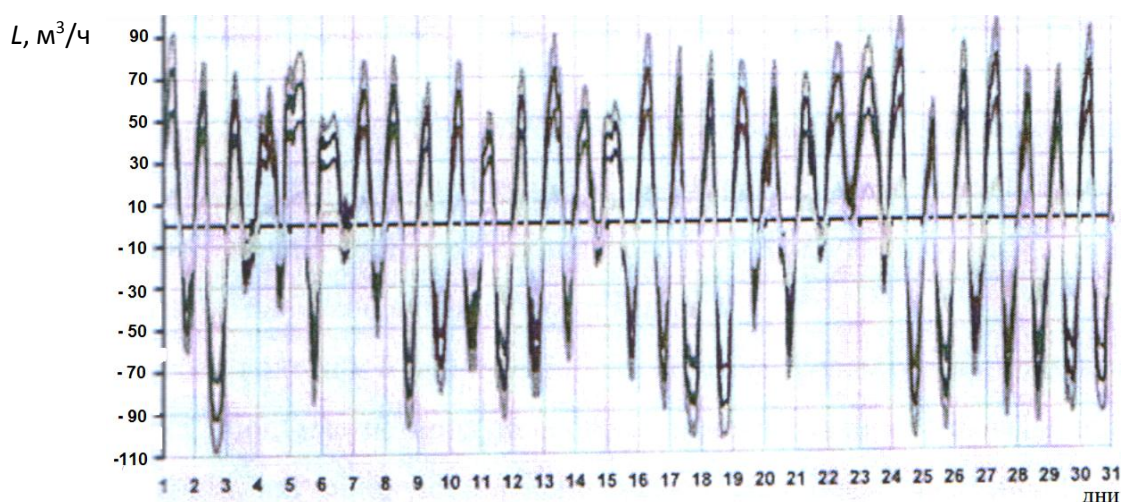


Рисунок 1 - Изменения воздухопроизводительности естественной вентиляции жилого помещения квартиры 1-го этажа в 5-этажном жилом доме в июле месяце

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 канальной вентиляторной насадки низкого типа VBP в соответствии с рисунком 2 [8].

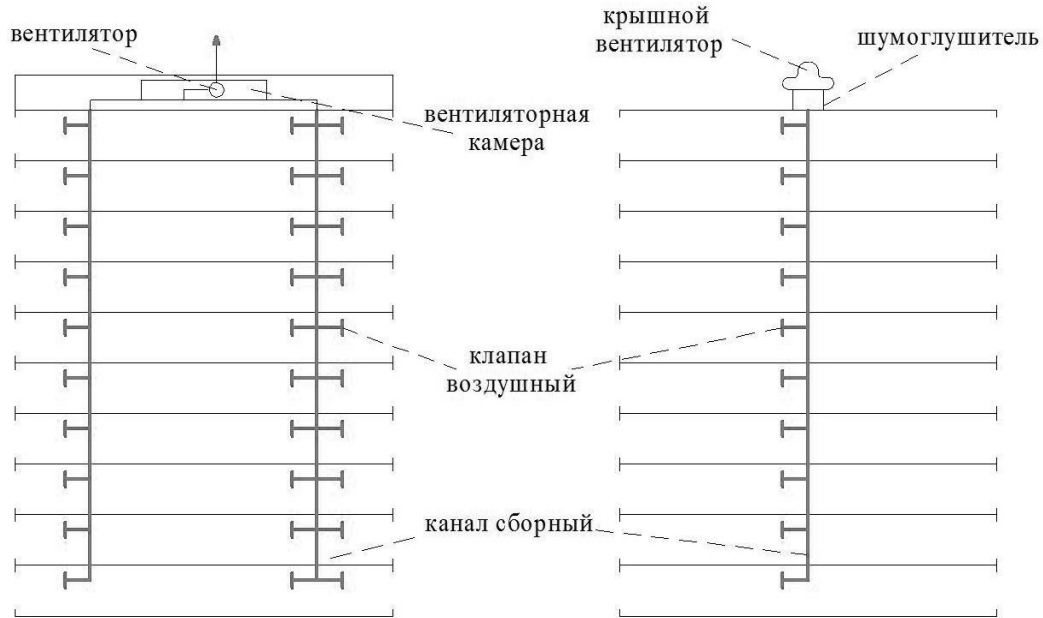


Рисунок 2 - Схемы систем механической вытяжной вентиляции многоэтажных жилых домов повышенной этажности

Одной из задач исследований являлась разработка методики расчета воздухообмена в домах этажностью 11 и выше. Для этого необходима разработка математической модели вентиляционного процесса.

Она состоит из следующих уравнений:

Уравнения балансов воздушных потоков и объемных расходов

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

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

Уравнение баланса давлений

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

Теплопроизводительность системы отопления

$$Q_{c.o.} = Q_{mp} + Q_{вент} \quad (1)$$

$$Q_{mp} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot A_i (t_{в.ср.} - t_n) \cdot n, \beta, \quad Q_{вент.} = 0,278 \cdot Q_{Геент.} \cdot c_p (t_{в.ср.} - t_n) \quad (2)$$

Теплопотери через оконные проемы

$$Q_0 = [K_0 A_0 + S \sum l \cdot c_p \rho (|\Delta p|)^\alpha \operatorname{sgn}(\Delta p)] \Delta T \quad (3)$$

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 объекты с сосредоточенными параметрами;
- принято, что распределение температур во всех внутренних ограждениях одинаковое, это делает возможным рассмотрение их как единого ограждения с суммарной поверхностью.

Апробация математической модели проводилась в лаборатории аэродинамики вентиляции на кафедре гидрогазодинамики Луганского национального университета им. В. Даля.

Принципиальные схемы испытательных стендов приведены на рисунке 3.

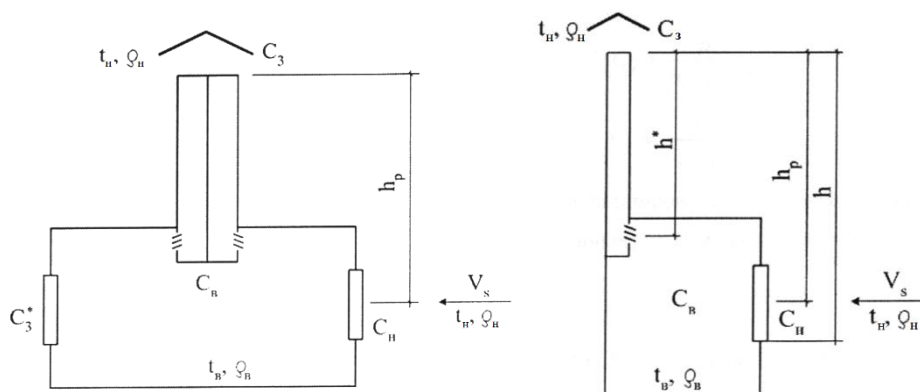


Рисунок 3 - Принципиальные схемы испытательных стендов

Адекватность модели подтверждена критерием Фишера, что позволило на ее основе разработать методические рекомендации по усовершенствованию тепловоздухообмена 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, при котором 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. Экспериментально 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 приводит 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. Ананьев В. А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика [Текст] / В.А. Ананьев, Л. Н. Балуева, А. Д. Гальперин. – М.: Евроклимат : Арина, 2000. – 416 с.
2. Грудзинский М.М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности [Текст] / М. М. Грудзинский, В. И. Ливчак, М. Я. Поз. – М.: Стройиздат, 1982. – 255 с.

3. Крум Д. Кондиционирование воздуха и вентиляция зданий [Текст] / Д. Крум, Б. Робертс; пер. с англ. / под. ред. У. У. Карписа. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
4. Гусенцова Я.А. Аддитивная нестационарная модель вентиляционного процесса [Текст] / Я.А. Гусенцова. - Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2012. № 6/4 (60). С. 9 – 13.
5. Пиотровски Е. Новая методика экспериментального исследования процесса естественного воздухообмена в помещениях [Текст] / 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 621.577

Низамутдинов Дмитрий Барыевич,
магистрант группы ЗТГВмб-49 кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ВЫБОР ИСТОЧНИКА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЕПЛОВОГО НАСОСА

В данной статье проведен анализ существующих источников низкопотенциальной тепловой энергии тепловых насосов. Выявлены достоинства и недостатки источников, и особенности их выбора при различных режимах работы тепловых насосов.

Ключевые слова: тепловой насос, грунтовой коллектор, коэффициент трансформации низкопотенциальная тепловая энергия

Тепловой насос - устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине [1]. Однако, если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из любого объема испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе процесс происходит наоборот. Конденсатор, являющийся теплообменным аппаратом, выделяет теплоту для потребителя, а испаритель - теплообменный аппарат, утилизирует низкопотенциальную теплоту и перерабатывает ее в вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Эффективность использования теплового насоса зависит от его коэффициента преобразования, который определяется отношением количества тепла в кВт, полученного от теплового насоса, к расходу энергии для работы компрессора (привода) теплового насоса. Этот коэффициент может быть от 2,5 до 5 для различных типов тепловых насосов. Так объясняется большая эффективность использования теплового насоса: тепловой насос, например, потребляет 1 кВт электрической энергии, а в зависимости от типа теплового насоса и условий его эксплуатации, обеспечивает 3,5-7 кВт тепловой энергии. Таким образом, определяется КПД, или коэффициент преобразования теплового насоса. Основное правило - если меньше будет разница температур между входящей и исходящей температурой теплоносителя в системе потребления, тем меньше необходимо затратить энергии компрессора теплового насоса для нагрева теплоносителя до требуемой температуры. Коэффициент полезного действия теплового насоса (ТН) высокий при использовании ТН в низкотемпературных системах отопления - системах с теплыми полами или фанкойлами, или с радиаторами, рассчитанными на пониженную температуру подачи.

Тепловые насосы в холодное время года отапливают помещения, а в теплое время года используются для охлаждения воздуха в помещениях. В таком случае тепло из воздуха помещений дома забирается и передается обратно в землю, воздух или в водоем. Многофункциональность использования является одной из важнейших преимуществ тепловых насосов.

На сегодняшний день тепловые насосы - геотермальные, воздушные или водяные, является наиболее эффективным, экологическим и энергосберегающим видом

теплотехнического оборудования, используемого для отопления, кондиционирования помещений и горячего водоснабжения.

Применение тепловых насосов всегда требует не только затрат энергии на привод, но и дополнительных источников тепла. Общедоступным источником низкопотенциальной теплоты является атмосферный воздух, который широко используют для малых теплонасосных установок. Однако низкие значения температуры воздуха, теплоемкости и коэффициента теплоотдачи не позволяет достичь приемлемых показателей энергетической эффективности крупных установок, в частности теплонасосных станций, к испарителям которых требуется подводить большие тепловые потоки.

Эффективность теплового насоса во многом зависит от выбора источника низкопотенциальной теплоты, так как повышение эффективности происходит при снижении разности температуры конденсации и температуры кипения рабочего вещества [4].

Источниками низкопотенциального тепла могут быть:

- наружный воздух;
- поверхностные воды (река, море, озеро);
- подземные воды;
- грунт;
- солнечная энергия;
- низкопотенциальное тепло искусственного происхождения (сбросные воды, нагретые воды или другие жидкости технологических процессов и пр.) [1].

По сочетанию используемого низкопотенциального тепла с нагреваемой в тепловых насосах средой различают следующие варианты:

- воздух - воздух;
- воздух - вода;
- грунт - вода;
- почва - воздух;
- вода - воздух;
- вода - вода.

По видам затраченной энергии различают тепловые насосы, использующие электроэнергию (чаще всего), топливо того или иного вида, вторичные источники энергии [2].

Таблица 1 – Источники низкопотенциального тепла

Источник низкопотенциального тепла	Температура источника, °С
Грунтовые воды	8...15
Грунт	2...10
Вода водозабора	6...10
Вода рек	1...10
Канализационные стоки	10...17
Наружный воздух	-8...15
Вытяжной воздух	18...25

Воздух как источник теплоты. Наружный воздух проходит через оребренные трубки испарителя, внутри которых циркулирует рабочее вещество. Таким образом, теплота отводится от конденсатора к воздуху отапливаемого помещения. По мере снижения температуры окружающей среды необходимое количество теплоты для отопления повышается, но способность теплового насоса поддерживать даже постоянную тепловую мощность снижается. Для устранения этого недостатка применяют дополнительные нагреватели - электрические или на органическом топливе [3].

Вода как источник теплоты. Артезианская вода имеет практически одинаковую температуру, примерно от 10°C в северных областях до 15°C вблизи экватора. Грунтовые воды, температура которых в течение года составляет 8-10°C, имеют благоприятные свойства для использования в тепловых насосах без подготовительных процессов. Инфильтрация охлажденной воды осуществляется в том случае, когда грунтовая вода не может быть использована для технологических нужд. Вода открытых водоемов, таких, как озера, моря и реки, также может служить источником тепла. При ее использовании, как и в случае с воздухом, случаются трудности зимой. Вода поступает с температурой 4-7°C, чтобы она не замерзала, ее не следует охлаждать до 1-2°C.

Грунт как источник теплоты. Во многих странах значительная часть тепловых насосов используют почву в качестве источника тепла.

Наиболее часто используется тепло грунта, примерно на глубине 2-х метров ниже поверхности имеет относительно постоянную в течение всего года температуру 8 ... 10° С, что намного выше температуры наружного воздуха в течение зимы и ниже температуры окружающей среды летом, что и делалось ранее людьми [2]. При использовании теплового насоса зимой последний использует тепло грунта или воды для теплоснабжения здания, а летом тепло из здания отводится в грунт или воду, то есть грунт действует как источник тепла зимой и приемник тепла летом.

С точки зрения теплофизики грунт является неиссякаемым источником тепловой энергии. При «отборе» тепла Земли используют ее верхний слой, находящийся на глубине до 100 метров от поверхности. С точки зрения теплообмена этот слой грунта находится под влиянием лучистой энергии Солнца, радиогенного тепла из глубинных слоев Земли, конвективного теплообмена с атмосферным воздухом и теплопереноса за счет различных массообменных процессов (дождь, тающий снег, грунтовые воды и т.д.).

Недостатком использования грунта в качестве источника низкопотенциального тепла теплового насоса, заключается в низкой теплопроводности грунта, что приводит к необходимости прокладки трубопроводов большой протяженности, повышаются затраты на сооружение таких систем. По различным литературным источникам 1 погонный метр трубы может дать 6-45 Вт. Главный недостаток грунтовых тепловых насосов-высокая стоимость работ по бурению скважин.

При выборе типа теплового насоса и источника низкопотенциальной тепловой энергии учитывается коэффициент эффективности (коэффициент трансформации) - это отношение произведенной насосом тепловой энергии к потребленной им электрической, т.е. КПД теплового насоса [5]. В случае использования водных тепловых насосов этот коэффициент равен 5 независимо от времени года. В грунтовых насосов величина коэффициента эффективности чуть ниже - от 4 до 4.5. И, наконец, самым маленьким коэффициентом характеризуются воздушные тепловые насосы, при этом их эффективность сильно зависит от температуры окружающего воздуха: при 0 ° С величина коэффициента равен ~ 3.5, а при -20 ° С он уже не превышает 1.5 (при такой низкой эффективности насос просто не окупится, и имеет смысл подумать о приобретении более дешевого климатического оборудования, или использование другого источника низкопотенциальной тепловой энергии).

Список литературы

1. Амерханов Р.А. Тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат 2005. — 160 с.
2. Бондарь Е.С. Тепловые насосы: расчет, выбор, монтаж. Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011 – № 4 (112) – С. 62-67.
3. Гритчин Р.Д. Воздушный тепловой насос как эффективный источник тепла для жилого дома / Р.Д. Гритчин, Д.И. Иванков // Молодой ученый. — 2016. — №8. — С. 199-202.

4. Тепловые насосы для России: технология использования геотермального и сбросного тепла предприятиями. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы», 2008, № 4. – С. 3-9.
5. Трубаев П.А. Тепловые насосы: Учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко // – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.

УДК 621.4

Нилов Игорь Александрович,
магистр кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Шайхед Ольга Владимировна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ КОНТАКТНОГО ТИПА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ, РАБОТАЮЩИХ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

В данной статье рассмотрено применение теплообменных аппаратов контактного типа (КТАН) в котельных, работающих на газообразном, жидком и твердом топливе. При установке КТАН за котельными агрегатами достигается глубокая утилизация теплоты за счет снижения температуры уходящих газов. Применение в газифицированной котельной схемы с контактным теплоутилизатором без водоумягчительной установки показало, что в результате конденсационных процессов в утилизаторах может быть получено такое количество конденсата, которое способно полностью возместить потребность котельной, не применяя при этом химводоочистку. Использование КТАН в котельных, работающих на жидком топливе, дает возможность утилизировать теплоту конденсации водяных паров, а орошение поверхности теплообменного аппарата химическим раствором позволяет снизить коррозионные процессы, извлечь из дымовых газов ценный продукт для промышленности и сократить выброс вредных веществ в окружающую среду. Использование контактных теплообменников — один из эффективных путей экономии металлов, снижения капитальных и эксплуатационных затрат, повышения надежности оборудования.

Ключевые слова: теплоутилизатор, котельная, топливо, дымовые газы, котлоагрегат

Производственно-отопительные и отопительные котельные теряют с уходящими продуктами сгорания значительное количество теплоты. Наиболее перспективное направление экономии топлива - использование теплоты продуктов сгорания для технологических нужд предприятий и теплоснабжения.

Применение традиционных поверхностных теплообменников для снижения тепловых потерь с уходящими газами связано с высокой стоимостью установок, большими габаритными размерами, металлоемкостью. При установке за котлоагрегатами контактных теплообменников типа КТАН достигается глубокая утилизация теплоты за счет снижения температуры уходящих газов.

Контактный теплоутилизатор с активной насадкой является аппаратом рекуперативно-смесительного типа и состоит из трех основных элементов: активной насадки из трубного пучка, орошающей камеры и сепарационного устройства. Принципиальная схема КТАН-утилизатора представлена на рисунке 1.

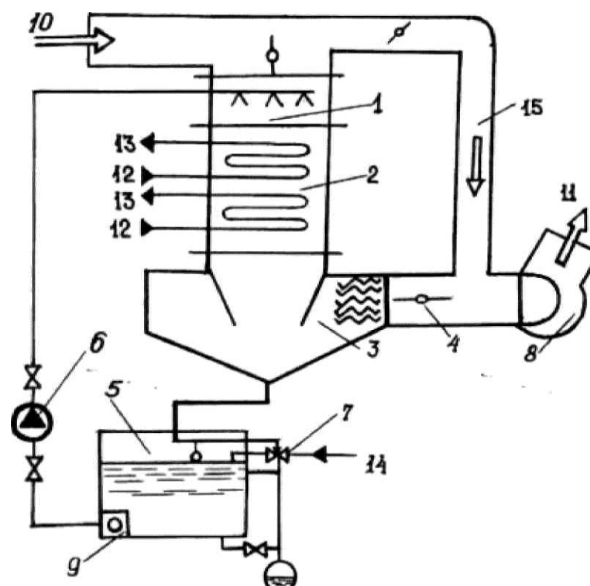


Рисунок 1 - Принципиальная схема КТАН-утилизатора:

1 - система орошения; 2 –насадка из трубного пучка; 3 – сепаратор; 4 - заслонка; 5 - бак орошающей воды; 6 - насос; 7 - регулятор уровня; 8 – дымосос; 9 - фильтр; 10, 11- входной и выходной патрубки дымовых газов; 12, 13 - вход и выход нагреваемой воды; 14 -трубопровод системы орошения; 15- байпасный газоход

Утилизация теплоты дымовых газов в котельных, работающих на газообразном топливе.

Газообразное топливо является наиболее перспективным для сжигания в котельных установках по ряду следующих показателей:

- отсутствие соединений серы позволяет охлаждать газы до относительно низкой температуры;
- относительно высокое влагосодержание дымовых газов дает возможность использовать теплоту конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах и увеличить эффективность процесса утилизации;
- отсутствие механических примесей облегчает эксплуатацию теплоутилизаторов.

Преимущество использования скрытой теплоты парообразования дымовых газов - возможность использования получаемого конденсата, то есть экономия воды. Применение в газифицированной котельной схемы с контактным теплоутилизатором без водоумягчительной установки показало, что в результате конденсационных процессов в утилизаторах может быть получено такое количество конденсата, которое способно полностью возместить потребность котельной, не применяя при этом химводоочистку. Количество сконденсировавшейся из дымовых газов воды определяется по формуле:

$$C_k = G_{\text{г}} B (d'_{\text{г}} - d''_{\text{г}}), \quad (1)$$

где $G_{\text{г}}$, кг/м^3 - расход сухих дымовых газов, кг/м^3 ;

B - расход топлива на котел, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$d'_{\text{г}}$, $d''_{\text{г}}$ - влагосодержание дымовых газов соответственно на входе и выходе из утилизатора, кг/кг с.г.

Эксплуатация КТАНа-утилизатора без водоумягчительной установки позволяет на 15 % снизить себестоимость вырабатываемой тепловой энергии и на 10 % - удельные капиталовложения.

Утилизация теплоты дымовых газов в котельных, работающих на жидком топливе.

Большинство котельных, работающих на газообразном топливе, имеет резервный вид топлива - мазут. В конструкции КТАНа-утилизатора отсутствуют элементы, необходимые для

работы на дымовых газах, образующихся при сжигании мазута, поэтому при переходе котельной на работу на мазуте установленные КТАНЫ -утилизаторы необходимо плотно отключить от газового тракта и пропустить газы по обводному газоходу непосредственно в дымовую трубу.

Для применения в котлах, работающих на жидком топливе, фирмой «Bommer» предложен конвективный теплообменник, изготовленный из медного литья со специальным легированием. Теплообменник снижает температуру до 150°C , затем продукты сгорания поступают в конденсатор водяных паров, выполненный из керамических материалов, в котором температура уходящих газов снижается до $35-55^{\circ}\text{C}$. Данная технология позволяет повысить КПД котлов, работающих на жидком топливе, до 108 % (по низшей теплоте сгорания). При этом дымовая труба может изготавливаться из полимерного материала. Принципиальная схема утилизации теплоты дымовых газов в мазутных котельных представлена на рисунке 2. В основе схемы - использование КТАНа. Для повышения долговечности утилизационного оборудования применяются коррозионностойкие материалы из алюминиевых сплавов, нержавеющей стали, антикоррозионные покрытия, а также методы нейтрализации серной кислоты, образующейся в процессе сгорания жидкого топлива. Орошающая вода вместе с конденсатом из КТАНа поступает в резервуар, состоящий из трех камер, соединенных между собой переливами. В камеру I поступает 25 %-ный раствор NH_4OH из бака и добавляется в орошающую воду. Через перелив вода поступает в среднюю камеру II, куда при необходимости может дополнительно добавляться вода. Твердые частицы оседают на дно камер I и II. Осветленная вода поступает в камеру III, откуда подается снова на орошение. В зависимости от степени насыщения сульфатом, остаток отводится в специальный объем. Дозирование аммиачной воды осуществляется с помощью насоса-дозатора. Твердый остаток подается в сепаратор, где отделяется твердая фаза, которая представляет интерес для дальнейшего использования.

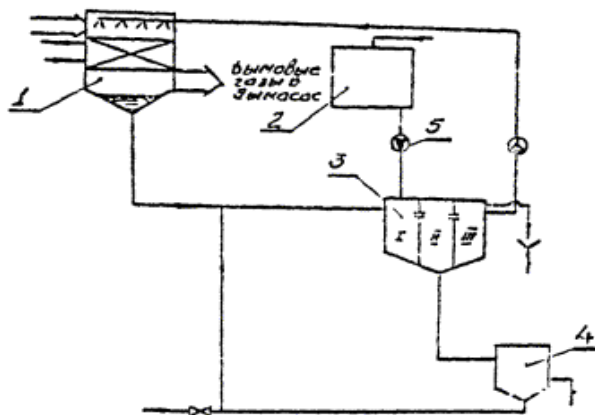


Рисунок 2 - Схема использования теплоты дымовых газов котельных, работающих на жидком топливе:

- 1 - контактный теплообменник; 2 - бак с аммиачной водой;
3 - бак орошающей воды; 4 - сепаратор вредных отложений; 5 - насос - дозатор

Использование контактного теплообменника за котлами в данной схеме дает возможность утилизировать теплоту конденсации водяных паров. В то же время орошение поверхности КТАНа химическим раствором позволяет снизить коррозионные процессы, извлечь из дымовых газов ценный продукт для промышленности (сульфат аммония) и сократить выброс вредных веществ в окружающую среду.

Утилизация теплоты дымовых газов в котельных, работающих на твердом топливе.

Для утилизации теплоты уходящих газов котлов, работающих на твердом топливе, могут быть использованы те же утилизационные установки, что и в газифицированных котельных.

Однако при этом необходимо предусмотреть мероприятия по удалению твердых частиц, а при высокой сернистости твердого топлива - по защите оборудования от коррозии. Для нормальной работы системы утилизации твердотопливных котлов необходимо обеспечить водно-химический режим работы циркуляционного контура, исключая коррозию оборудования, отложение шлама и карбонатов на форсунках и поверхностях теплообменника. Отсутствие такого опыта в практике эксплуатации требует проведения специальных исследований.

Список литературы

1. Бузников, Е.Ф. Производственные и отопительные котельные / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я Берзиныш. - М.: Энергоатомиздат, 2010. – 248 с.
2. Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, А.В. Клименко и др. / под ред. А.В. Клименко. – 2-е изд., стер.– М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 424 с.
3. Ильин, И.Н. Об эффективности контактных теплообменников с активной насадкой / И.Н. Ильин, Д.М. Блумберга, В.А. Гришин и др. /Промышленная энергетика. –1986. – № 8. –22-24 с.
4. Овчаров, А.С. Рекомендации для проектирования котельных и промышленных ТЭЦ с применением КТАНов-утилизаторов. Методическое пособие /А.С. Овчаров, Н.И. Кириллова – Рига: Изд-во Латгитпропром, 1990. – 192 с.
5. Контактный теплообменник с активной насадкой КТАН – URL: <http://lagitprom.ru/products/catalog>.

УДК 697.978

Золотухина Наталья Викторовна,
ст. преподаватель кафедры
«Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»;
Дудник Анна Вячеславовна,
ст. преподаватель кафедры «Строительная инженерия и экономика»;
Новиков Алексей Михайлович,
студент гр.411, спец. «ПГС»
Бендерский политехнический филиал
Приднестровского Государственного Университета им. Т.Г. Шевченко

РЕКУПЕРАЦИЯ ТЕПЛА В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

В данной статье рассмотрены вентиляционные установки с рекуператорами, которые обеспечивают энергоэффективность зданий и высокое качество воздухообмена в помещении без тепловых потерь, различные схемы конструкционного исполнения установок в системе вентиляции зданий.

Ключевые слова: вентиляция, рекуперация тепла, рекуператор, энергоэффективность

В наше время системы вентиляции уже не ограничиваются их стандартным набором функций, главной из которых является осуществлении воздухообмена в помещениях. При использовании различных технологических фильтров возможно свести к минимуму содержание вредных частиц, поступающих с улицы.

Вентиляционные установки с каждым годом становятся всё более совершенными, что обеспечивает всё большую безопасность, энергоэффективность и качество воздухообмена [1].

Тепло из дома выходит не только через кровлю и ограждающие конструкции, но и через систему вентиляции. К примеру, если воздух в квартире имеет температуру в $+25^{\circ}\text{C}$, а наружный воздух имеет температуру -15°C , получается, что тепло вместе с отработанным воздухом уходит в вентиляционные каналы, а приточный холодный воздух приходится нагревать до требуемой комфортной температуры. В целях экономии природного газа, запасы которого стремительно иссякают, при проектировании коммуникационных систем в здании, в частности индивидуальных жилых домов, резонно применять приточно-вытяжные системы вентиляции с рекуперацией тепла, которые помимо экономии ресурсов, также сберегают тепло в помещении, одновременно производя воздухообмен помещений. Кроме того, многие современные строительные технологии, такие как мембраны системы Vario, скомбинированные с стекловолоконистой изоляцией ISOVER [6], могут обеспечить воздухо- и паронепроницаемость конструкций здания. Для эффективного удаления воздуха и пара из помещений необходимо устраивать принудительную приточно-вытяжную вентиляцию. В таких домах система рекуперации создаст наиболее комфортные и энергоэффективные условия.

Рекуперация (с лат. *Recuperatio* — «Обратное получение») — это возвращение части материалов или энергии, задействованных при производстве того или иного технологического процесса, для повторного применения в том же технологическом процессе [5].

Процесс рекуперации происходит на фоне взаимодействия воздушных потоков разной температуры. Исходящие нагретые потоки передают своё тепло входящим холодным, таким образом образуется оптимальный температурный баланс.

Существуют разные уровни эффективности рекуперации. К примеру, открытое окно имеет нулевую эффективность. Приточные потоки не нагреваются, а лишь охлаждают воздух внутри помещения.

Эффективность процесса варьируется в пределах от 30 до 90%. Оптимальный показатель в среднем достигает 60%, а системы, имеющие показатель 80%, и выше считаются наиболее

производительными. Самая эффективная рекуперация достигается в процессе теплообмена, в котором нагрев приточного воздуха достигает уровня, соответствующего температуре удаляемого воздуха. Даже в современных реалиях невозможно достичь 100%-го уровня рекуперации [1]. Ещё одним фактором эффективности процесса рекуперации является тип помещения. Если температура в нём поддерживается $+23^{\circ}\text{C}$ и выше, рекуператор однозначно окупает свою стоимость [2]. А в частных домах, в которых проживают семьи с детьми, в обязательном порядке температура внутри помещения для комфортного пребывания человека должна быть $+24-25^{\circ}\text{C}$.

Принцип рекуперации реализуется в системе вентиляции в виде поверхностного теплообменника, а сам процесс распределения тепла осуществляется при помощи стенки, разделяющей два противоположно направленных потока в соответствии с рисунком 1 [1].

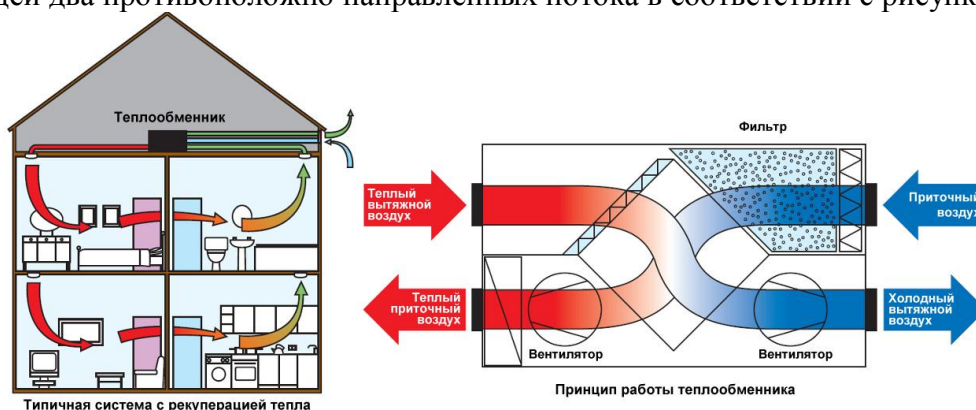


Рисунок 1 - Система вентиляции частного дома с теплообменником

Существуют различные схемы конструкционного исполнения теплообменников систем вентиляции с рекуператорами, рассмотрим несколько из них.

1. Пластинчатый рекуператор - представляет собой герметичную камеру с множеством параллельных воздухопроводов в соответствии с рисунком 2. Каналы разделены теплопроводящими пластинами, изготовленными из алюминия или, стали.

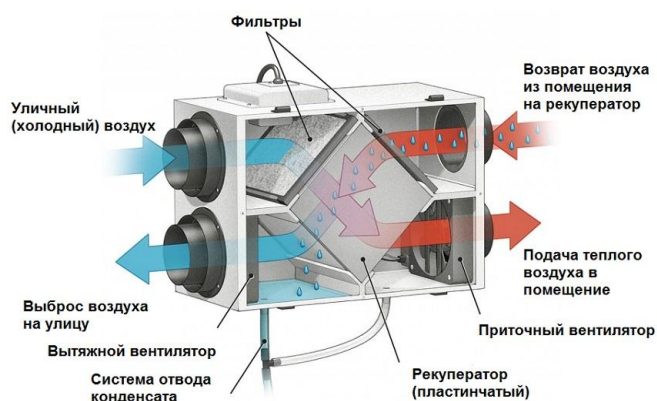


Рисунок 2 - Пластинчатый рекуператор

Воздушные потоки движутся навстречу друг другу, пересекаясь в кассете, но не смешиваясь между собой. Обмен теплом происходит от одновременного нагрева и охлаждения пластинок с разных сторон. На поверхностях пластин может образовываться некоторое количество конденсата, поэтому они оборудуются специальными отводами [7].

Конденсатосборники имеют специальный водяной затвор, не позволяющий вентиляторам подавать воду в систему, потому как в зимнее время существует довольно серьёзный риск образования наледи.

Пластинчатые рекуператоры являются одними из самых распространённых и относительно дешёвых моделей, они характеризуются высокой эффективностью (порядка 50-80%) [5].

Роторный рекуператор выполняется в виде цилиндра, заполненного прослойками гофрированного металла в соответствии с рисунком 3. В ходе вращения барабанной установки в каждый отсек поступают холодный и тёплый воздух. Роторный рекуператор имеет самую высокую эффективность (до 90%). Коэффициент полезного действия регулируется скоростью вращения ротора. Несмотря на свою эффективность, роторный рекуператор не пользуется такой популярностью, как скажем, пластинчатый в силу того, что потоки входящего и исходящего воздуха в нём частично перемешиваются. Кроме того, система очень громоздкая и требует большого объёма, что не выгодно для частных домовстроений или квартир. Чаще всего они используются на промышленных предприятиях.

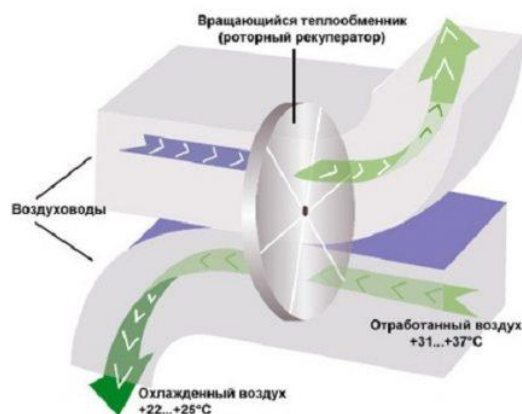


Рисунок 3 - Роторный рекуператор

Связанные теплообменники - один из двух теплообменников врезаются в приточный канал, второй в вытяжной в соответствии с рисунком 4. По специальным каналам циркулирует гликолиевый состав, который перенимает теплоту удаляемого воздуха в одном источнике и передаёт тепловую энергию свежему, поступающему. Система исключает перемешивание воздушных потоков, но имеет низкую эффективность (порядка 45-55%).

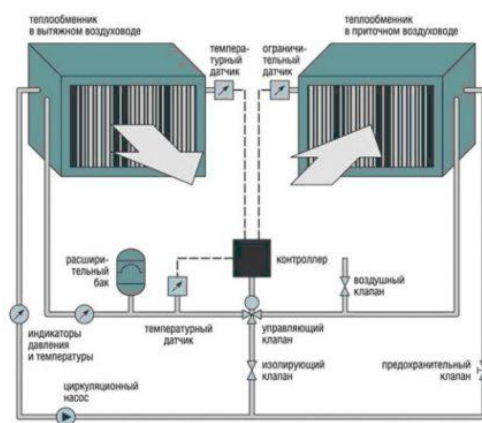


Рисунок 4 - Связанные теплообменники

Камерный теплообменник — это закрытый короб с движущейся внутри заслонкой в соответствии с рисунком 5. Поступающий воздух движется вдоль тёплых стенок, а отработанный воздух при удалении нагревает стенки второй камеры, в определённый момент заслонка перемещается и цикл повторяется. Система является высокоэффективной (80-90%) и максимально сокращает расходы на отопление. Но без фильтрующих элементов запахи и

воздушные потоки могут частично перемешиваться, сама же система нуждается в регулярном техническом обслуживании.



Рисунок 5 - Роторный рекуператор

Монтаж систем рекуперации может быть выполнен одним из двух способов: централизованным или децентрализованным.

При централизованной схеме установки в соответствии с рисунком 6 система проводится повсеместно во всём жилом доме или квартире. Монтаж такой системы осуществляется на этапе строительства или при капитальной модернизации системы. Приточный вентилятор установки подаёт воздух в жилые помещения (гостиную, спальню, кабинет), вытяжной вентилятор удаляет загрязнённый тёплый воздух из подсобных помещений.

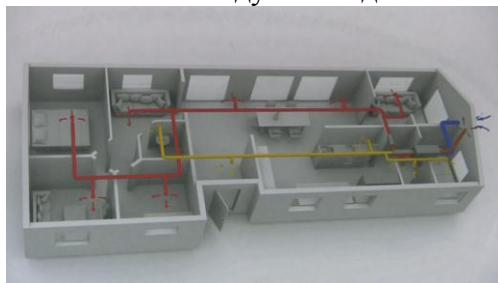


Рисунок 6 - Централизованная схема установки

Принцип работы децентрализованной системы (локальные агрегаты) заключается в установке рекуператора на фасаде здания или монтаже через окно в соответствии с рисунком 7 [7].



Рисунок 7 - Децентрализованная схема установки

Заключение. Процесс рекуперации тепла имеет значимую роль в области энергосбережения. Рекуперационные системы используются в зданиях различного назначения, но наибольшую свою эффективность они приобретают при малых площадях, то есть идеально подходит как для частных, так и для многоквартирных жилых зданий. Конечно,

в многоквартирном доме может возникнуть некоторые трудности в силу того, что многие (если не все) квартирные дома имеют централизованную или автономную систему отопления с единой для всех отапливаемых помещений схемой разводки, что лишает смысла установку в квартире рекуператора тепла. Однако эта проблема легко решается на этапе проектирования новых зданий или при реконструкции, или капитальном ремонте старых. Использование систем рекуперации в тандеме с технологией электрического тёплого пола позволяет полностью отказаться от затрат на отопление. Это позволяет сэкономить значительную долю природного газа, запасы которого стремительно иссякают, а также отказаться от выбросов в атмосферу вредного дыма, который выделяет в окружающую среду множество химических соединений, таких как: угарный газ, бензол, формальдегид, диоксид азота и тяжёлые металлы. Кроме того, это хорошая перспектива на будущее, когда запасы полезных ископаемых окончательно иссякнут, электричество по-прежнему будет добываться, а значит не придётся в срочном порядке переходить на новые отопительные системы.

В странах Европы системы рекуперации уже в настоящее время повсеместно применяются. К 2020 году европейский союз планирует строить дома исключительно пониженного энергопотребления [3]. В странах СНГ строительство энергоэффективных домов только начинается, когда-нибудь и наш регион полностью перейдёт на строительство энергосберегающих домов, ведь за этой технологией будущее.

Список литературы

1. Процесс рекуперации. Уровни эффективности рекуперации. Автоматика и фильтры в рекуператорах. [Электронный ресурс] URL: <https://fb.ru/article/227679/rekuperatsiya---eto-rekuperatsiya-tepla>
2. Функции рекуператора. Примеры работы процесса. Опыт иностранных государств. [Электронный ресурс] URL: <https://studfiles.net/preview/5578095/>
3. Распространение систем рекуперации. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. Пути выхода тепла из помещений. [Электронный ресурс] URL: <http://remstroiblog.ru/>
5. Виды рекуператоров. [Электронный ресурс] URL: <https://www.air-ventilation.ru/chto-takoe-rekuperatsiya.htm>
6. Системы, обеспечивающие воздухо- и паронепроницаемость конструкций. [Электронный ресурс] URL: <https://www.isover.ee/ru/sovety/i>
7. Виды рекуператоров. Монтаж рекуперационных систем. [Электронный ресурс] URL: <https://sovet-ingenera.com/>
8. Схема отопления многоквартирного дома. [Электронный ресурс] URL: <https://teplospec.com/montazh-remont/>
9. Вредные выделения при топке дровами. [Электронный ресурс] URL: <https://iceoom.com.ua/blog/>

УДК 691-405.8

Дудник Анна Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
«Строительная инженерия и экономика»;
Золотухина Наталья Викторовна,
старший преподаватель кафедры
«Строительство и эксплуатация зданий и систем жизнеобеспечения»;
Гудима Михаил Михайлович,
студент гр.41 СиЭЗиС
БПФ ГОУ «ПГУ им. Т.Г. Шевченко»

ПОЛИЭФИРНЫЙ УТЕПЛИТЕЛЬ КАК ЗАЩИТНЫЙ БАРЬЕР ОТ ПОТЕРЬ ТЕПЛА

В данной статье рассмотрены преимущества и недостатки различных видов теплоизоляционных материалов и выбран лучший. Анализируя недостатки и преимущества видов теплоизоляционных материалов, определили, что полиэфирный утеплитель обладает максимальным количеством достоинств.

Ключевые слова: теплопотери, полиэфирный утеплитель, достоинства, недостатки, теплоизоляция, теплопроводность.

В отличие от многоэтажных домов, гораздо больше теплопотерь в частных домах. Нагретый от отопления воздух отдает температуру стенам, крыше, полу и окнам. Чтобы не тратить еще больше средств на обогрев, целесообразно выполнить утепление. Для теплоизоляции помещений практически любого назначения успешно применяется полиэфирный утеплитель.

Данный утеплитель является достойной альтернативой минеральной вате. Он изготавливается из органического вещества и при этом сохраняет все рабочие параметры материала. В процессе монтажа нити полиэфира не ломаются, как каменные или стеклянные волокна, не создается вредная и колючая для человека пыль [4].

Полиэфирные волокна получают путем промышленной переработки пластиковой тары. Иными словами, из обычных пластиковых бутылок и другой упаковки. Вы прекрасно знаете синтепон, который используют для утепления зимних пальто. Полиэфирные утеплители в строительстве – это тот же синтепон, но в матах или рулонах, разной толщины.

Этот утеплитель понравится тем, кто беспокоится об экологии. Это альтернатива для переработки огромного количества пластика, не разлагающегося в природе (для полного разложения 200 лет), но может с успехом применяться в строительстве.

Изделия можно использовать не только в промышленной сфере, но и в быту. Его рекомендуют для монтажа в детских комнатах, так как является гипоаллергенным материалом, не имеет запаха и не выделяет вредные вещества, высоко экологичен. Полиэфир применяется в производстве целого ряда продукции: звукоизоляция систем вентиляции и воздуховодов; теплоизоляционные материалы для трубопроводов и зданий; ткани и искусственный мех; изготовление постельных принадлежностей (матрасы, подушки, одеяла); наполнитель игрушек; утеплитель для одежды [3].

При выборе утеплителя стоит обращать внимание на следующие параметры:

- паропроницаемость;
- теплопроводность;
- масса и плотность;
- усадка;
- диапазон рабочих температур;
- водопоглощение (гигроскопичность);

- толщина;
- горючесть;
- простота укладки;
- долговечность;
- химическая стойкость;
- экологичность.

Кратко сформулируем преимущества и недостатки видов теплоизоляционных материалов и выберем лучшие (таблица 1 и 2) [2, с.18].

Таблица 1 - Сводные данные достоинств и недостатков различных видов утеплителей

Вид утеплителя	Достоинства	Недостатки
Пенополистирол	<ul style="list-style-type: none"> +диапазон толщин от 20 до 50 мм +низкая теплопроводность +прочность на сжатие +сохранение формы спустя годы +малое водопоглощение 	<ul style="list-style-type: none"> -едят грызуны -не подходит для крыши -нужно резать точно по размерам -максимальная плотность 35 кг/м³ -относится к сильногорючей группе -высокая цена
Полиэфирные волокна	<ul style="list-style-type: none"> +малый вес +не теряют форму +листы крошатся +не впитывают воду +свободны от фенола +низкий коэффициент теплопроводности +гипоаллергенны 	<ul style="list-style-type: none"> -горят -высокая цена
Пенопласт	<ul style="list-style-type: none"> +выдерживает механические нагрузки +малый вес +не боится воды +не едят грызуны +доступная цена +экологически чистый +сохраняет форму +диапазон толщины от 20 до 50 мм 	<ul style="list-style-type: none"> -малая плотность - при укладке требует точной порезки -не подходит для кровли - во время монтажа крошатся углы -средняя теплопроводность от 0.041 Вт/(м*К) -сильно горюч
Базальтовая вата	<ul style="list-style-type: none"> +паропроницаема +диапазон толщины от 50 до 200 мм +не горит +плотность от 11 до 200 кг/м³ +низкая теплопроводность +малый вес +легко режется и укладывается 	<ul style="list-style-type: none"> -при укладке нужна защита органов дыхания -высокая стоимость -впитывает воду - может терять форму
Стекловата	<ul style="list-style-type: none"> +легкая +хорошо уплотняется +экологически безопасна +не горит +диапазон толщин 50-200 мм +доступная цена 	<ul style="list-style-type: none"> -меньшая химическая стойкость -гигроскопична -средняя теплопроводность от 0.04 Вт/(м*К) -теряет форму - при монтаже колет руки

Анализируя недостатки и преимущества видов теплоизоляционных материалов, определили, что полиэфирный утеплитель обладает максимальным количеством достоинств в соответствии с рисунком 1.

Таблица 2 - Лучшие утеплители для дома

Вид утеплителя	Наименование товара	Цена, руб. ПМП	Место
Пенополистироловые утеплители	Техниколь хрс техноплекс	289,3	1
	ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ	258,3	2
Пенопластовые утеплители	Knauf therm дом	234,1	1
	ПСБ С 15-О	443,9	2
Базальтовые утеплители	Rockwool	182,8	1
	HOTROCK SMART	79,4	2
Утеплитель из полиэфирного волокна	Шелтер экострой шэс арктический	468,1	1
Стекловолоконные утеплители	Isover теплый дом	173,9	1
	URSA GEO	210,4	2



Рисунок 1 - Полиэфирный утеплитель

Это новейший продукт в рейтинге, выпускаемый по технологии MicroFiber. Утеплитель получается с постоянно поддерживаемой формой с разнонаправленными ворсинками, создающими упругий слой. В легком проходе пара и заключается эффект фирбы. Благодаря полой структур ворсинок, лучше поглощаются звуки и задерживается температура. Теплопроводность находится на минимальном уровне — 0.031 Вт/(м*К) . Утеплитель не представляет интереса для грызунов и не гниет.

Поэтому получится добиться высокой теплоизоляции при меньшей толщине слоя, так как 100 мм этого материала заменяют по эффективности 125 мм минеральной ваты [1, с.108].

Достоинства:

- не перегружая конструкцию, можно максимально ограничить теплопотери здания;
- высокая экологичность материала – нагреваясь, в его составе не содержится фенол, формальдегид и другие вредные соединения, он не выделяет токсичных испарений;
- минимальное влагопоглощение и отсутствие в мокром состоянии зарегистрированных изменений физико-химического свойства ПЭ-волокна;
- долговечность – материал долго не меняет своих свойств, ударопрочен и стоек к истиранию;

- не употребляется в пищу грызунами и насекомыми, не подвержен поражению грибком и плесенью;
- достигается пожаробезопасность за счёт высокой стойкости полиэфирного утеплителя критическим отметкам температур, как низких, так и высоких;
- в отличие от стекловолоконных и минеральных теплоизоляционных материалов не травмирует кожу – удобство в работе;
- кроме теплоизоляционных свойств также обладает отличным шумопоглощением и способствует снижению проникновения звука;
- стойкость к химическим воздействиям.

Недостатки:

- поддерживает горение, но слабо;
- высокая стоимость;
- при возгорании выделяет вредный дым.

Проанализировав рекламные материалы производителей, а также мнения профессиональных строителей, технологов и химиков, естественно, делаем скидку на тот факт, что производитель полиэфирного утеплителя преувеличивает достоинства, позиционирует товар только с положительной точки зрения и тщательно скрывает недостатки.

Список литературы

1. Бобров Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции: Учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Пухова // — М.: ИНФРА-М, 2003. — 268 с.
5. Зарубина Л. П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012 — 416 с.
2. Полиэфирный утеплитель — где и как применять. [Электронный ресурс] URL: <https://remontami.ru/poliefirnyj-uteplitel-gde-i-kak-primenyat/>
3. 9 лучших утеплителей для дома. [Электронный ресурс] URL: <https://expertology.ru/9-luchshikh-utepliteley-dlya-doma/>

УДК 697.94

Омельницкая Наталья Сергеевна,
магистрант группы ТГВмб-49
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Статья посвящена вопросам оценки эффективности систем кондиционирования воздуха. Предложен эксергетический подход для анализа систем кондиционирования воздуха. Определены основные эксергетические потоки в системах кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: системы кондиционирования воздуха, виды эксергии, эксергетические потоки; эксергетический баланс

На сегодняшний день одной из важнейших задач, стоящих перед инженерами, являются задачи экономии энергетических ресурсов. Системы кондиционирования и вентиляции воздуха занимают одно из первых мест по энергопотреблению, поэтому задачи, направленные на оценку потерь энергии данными системами, являются актуальными. В целом эффективность принятых решений и энергосберегающих мероприятий зависит не только от конструктивных особенностей системы, но и правильного учета и оценки объема полезной экономии теплоты при внедрении энергосберегающих мероприятий.

Для исследуемой системы кондиционирования воздуха, обычно сначала составляют материальный и тепловой балансы. Поскольку тепловой баланс не учитывает потери, обоснованные необратимостью процесса, то для наиболее рационального оценивания энергетической эффективности систем кондиционирования воздуха целесообразно применять эксергетический метод. Данный метод термодинамического анализа основан на определении потоков эксергии. Под эксергией понимают максимальную работу, которую можно получить от системы при данном состоянии окружающей среды (которую система производит при обратимом переходе в состояние полного равновесия с окружающей средой). Эксергетический метод анализа технических систем на сегодняшний день является единственным универсальным инструментом по определению термодинамической эффективности технических объектов. Эксергетический анализ позволяет оценить эффективность как системы кондиционирования воздуха (СКВ) в целом, так и каждого ее элемента по отдельности [1].

Оценка эффективности процессов обработки воздуха в СКВ начинается с отделения системы от других объектов поверхностью, через которую будет происходить ее взаимодействие с окружающей средой. Далее составляется эксергетический баланс, который представляет равенство между суммой входных потоков эксергии и суммой выходных потоков эксергии и потерь [5]. В отличие от теплового баланса, который не отражает приближение системы кондиционирования воздуха к идеальной, эксергетический баланс учитывает потери, связанные с необратимостью термодинамических процессов.

Эксергетический баланс системы кондиционирования воздуха можно представить в виде

$$E_{\text{вх}} = E_{\text{вых}} + \sum_{i=1}^n D_i, \quad (1)$$

где $E_{\text{вх}}$ – сумма всех входных эксергий потоков энергии, кДж;

$E_{\text{вх}}$ – сумма всех выходных эксергий потоков энергии, кДж;
 ΣD_i – сумма эксергетических потерь, кДж.

Для углубленного эксергетического анализа системы кондиционирования воздуха необходимо исследовать все эксергетические потоки системы. Рабочим телом в системах кондиционирования является влажный воздух, однако, для полного анализа необходимо исследовать и эксергетические потоки энергоносителей, обеспечивающих тепло-и холодоснабжение, а также энергетические потоки в обслуживаемом помещении.

Виды эксергии при эксергетическом анализе системы кондиционирования воздуха приведены на рисунке 1 [3].

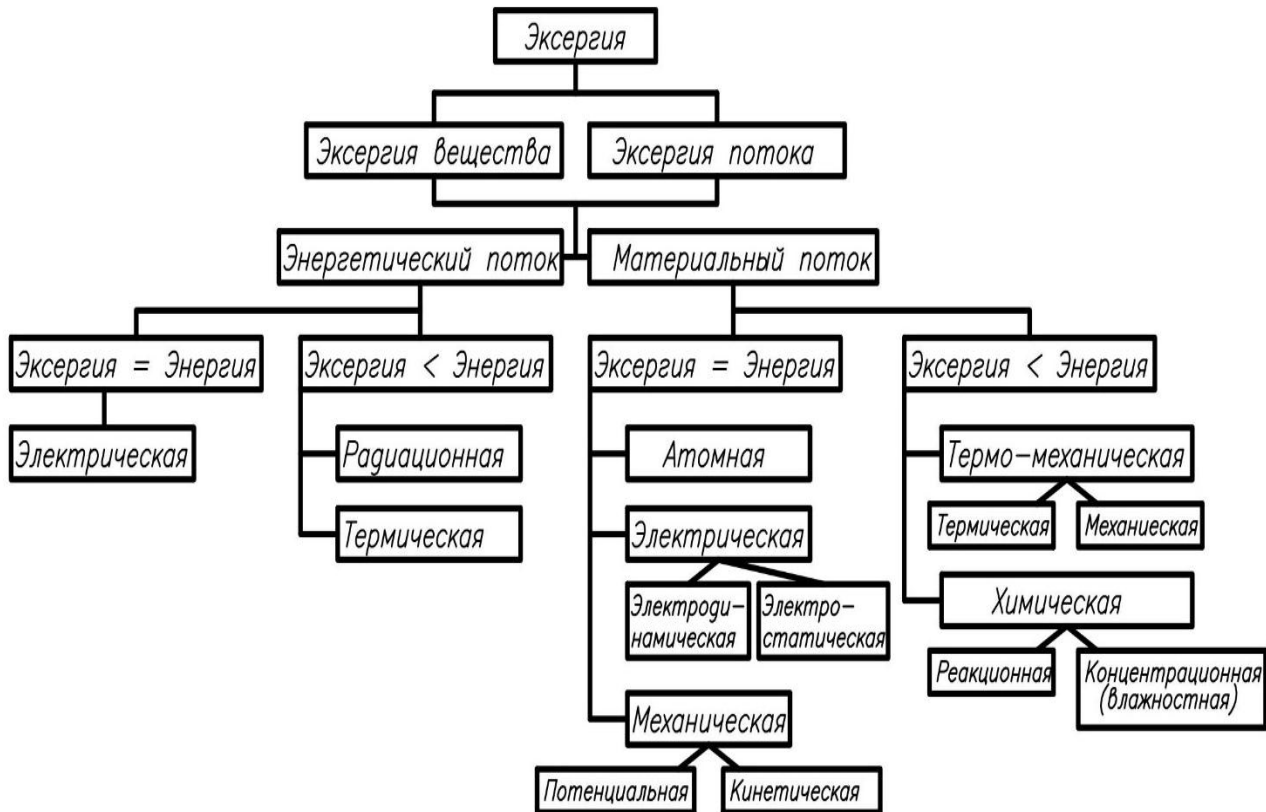


Рисунок 1 - Виды эксергии

Анализируя виды эксергии, можно сделать вывод, что в системах кондиционирования воздуха присутствуют не все указанные виды эксергии, т.е. при эксергетическом анализе необходимо выделить необходимые и учитывать их при дальнейших расчетах.

В результате эксергетического баланса определяют абсолютные и относительные характеристики системы кондиционирования воздуха и ее отдельных компонентов и строится диаграмма Грассмана. Данная диаграмма предоставляет возможность наглядно проанализировать потери эксергии в системе и решить вопрос о способах повышения ее эффективности.

Основным показателем для определения эффективности любого технологического процесса служит коэффициент полезного действия (КПД) [2, 3]. Соответственно для эксергетического анализа определяется эксергетический КПД по следующей формуле

$$\eta_{\text{э}} = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}} \quad (2)$$

Преобразовав уравнение (2) с учетом уравнения (1), можно получить следующее выражение для определения эксергетического КПД

$$\eta_{\text{э}} = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вых}} + \sum_{i=1}^n D_i} = \frac{E_{\text{эф}}}{E_{\text{затр}}}, \quad (3)$$

где $E_{\text{эф}}$ – полезная эксергия (эксергетический эффект), кДж;

$E_{\text{эф}}$ – расход эксергии, кДж.

Термодинамические показатели не дают представление о степени совершенства термодинамического процесса и не могут служить основанием для принятия технического решения. Однако благодаря ним можно сравнивать существующие и проектируемые системы и на основании анализа принимать выбор в пользу более эффективной системы с термодинамической точки зрения.

Эксергетический анализ для конкретных условий дает возможность определять и оценивать эксергетическую эффективность элементов систем кондиционирования воздуха; позволяет проводить сравнение по эксергетическим критериям энергоэффективности схемных решений и режимов работы систем кондиционирования воздуха.

Список литературы

1. Богословский В.Н. Кондиционирование воздуха и. холодоснабжение / В.Н. Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров // - М.: Стройиздат, 1985г. – 367 с.
2. Бродянский В.М. Эксергетические расчеты технических систем: Справ, пособие / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев // АН УССР. Ин-т технической теплофизики. – Киев: Наук. думка, 1991. – 360 с.
3. Задоянний О.В. Види ексергії в системах кондиціонування повітря та їх визначення / О.В. Задоянний, Ю.М. Євдокименко // Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання», вип.19, с.3-15/ відповідальний редактор Е.С.Малкін,- КНУБА, 2016.-145с.
4. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. –М.: Энергия, 1968. – 280 с.
5. Шевченко В.И. Эксергетический метод оценивания технического состояния средств обеспечения температурно-влажностного режима / В.И. Шевченко, А.В. Шевченко, М.В. Шевченко // Технические науки №11, 2015 год, С. 936 – 941.

УДК 628.336

Монах Светлана Игоревна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Панченко Людмила Юрьевна,
магистрант гр. ТГВмб-49, кафедры
теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ПОЛУЧЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО УРАВНЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ БИОГАЗА ОТ ЕГО СОСТАВА

В статье изложены результаты полного факторного эксперимента, на основании которого получено регрессионное уравнение зависимости теплоты сгорания биогаза от его состава. Рассматривалось два варианта – калорийность биогазового топлива до его очистки от примесей и калорийность топлива после очистки. Полученная зависимость может быть использована при решении вопроса возможности сжигания биогаза данного состава в газогорелочном устройстве теплогенератора, являющегося источником теплоты для фермерского хозяйства.

Ключевые слова: биогаз, природный газ, математическая модель, регрессионное уравнение, калорийность топлива, метанутилизация отходов, возобновляемые источники энергии, полный факторный эксперимент

В современном мире с каждым днем всё больше растрачивается полезное ископаемое – природный газ. Его запасы далеко не вечны.

Если рассматривать ситуацию на территории ДНР, то, в данное время, газ - не дешевое удовольствие. И необходимо начинать рассматривать альтернативные источники топлива, на нужды теплоснабжения территорий. Вполне логично, что такое решение не принимается сразу для всей территории, вначале следует рассматривать и тестировать некоторые отдельные объекты, являющиеся наиболее перспективными в части использования альтернативных источников энергии.

Одним из эффективных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является биогаз, его получают из различных органических отходов сельскохозяйственного производства, а так же из твердых бытовых отходов [2]. Физические и химические свойства биогаза зависят в первую очередь от вида сырья, из которого, собственно, и получают биогаз, от содержания различных примесей и их характеристик.

Основным компонентом биогаза является метан (CH_4), так же содержится диоксид углерода (CO_2), но присутствуют и примеси – сероводород (H_2S), аммиак (NH_3) и водород (H_2). Содержаниеметана может достигать от 50 до 80 %, диоксида углерода – от 15 до 50%, сероводорода – до 2%, аммиака и водорода – до 1% [2]. Но перед использованием биогаз подвергают обработке и очистке, после чего состав биогаза меняется.

В качестве примера рассмотрим объект сельскохозяйственной деятельности - «ШАХТЕРСКАЯ ПТИЦЕФАБРИКА» ГК «АГРАРНЫЙ ДОНБАСС».

При переработке чистого куриного помета существует опасность выхода большого количества аммиака, поэтому, для получения биогаза необходимо смешивать его с растительными субстратами, такими как: силос кукурузы, кукуруза, силос травы, силос ржи, солома и отходы очистки зерна [1].

По данным многих экспериментов, из свежего куриного помета, смешанного с растительными субстратами, выходит метан со следующим содержанием компонентов: метан – 60-65%, диоксид углерода – от 32 до 40%, сероводорода – до 2%, водорода – до 1%. После

обработки и очистки биогаза получим следующие значения: метан – 90-97%, диоксид углерода – от 0,1 до 1%, сероводорода – от 0 до 0,2%, водорода – от 0,1 до 1,8% [4].

Для проведения численных исследований и определения теплотворной способности биогаза до и после очистки, необходимо получить математическую модель [3].

Проведем полный факторный эксперимент для трёх факторов (до очистки биогаза). Значения переменных x_i в натуральном масштабе при проведении факторного эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения переменных x_i в натуральном масштабе

-	X_1 (CH ₄)	X_2 (CO ₂)	X_3 (H ₂)
1	2	3	4
Нижний уровень	65	40	1
Верхний уровень	60	32	0
Средний уровень	62,5	36	0,5
Интервал варьирования	2,5	4	0,5

Для удобства расчетов масштаб факторов выбираем так, чтобы значение верхнего уровня было равно +1, а нижнего –1. С этой целью делаем преобразование начала координат факторов и переходим к нормированному (стандартному) масштабу

$$x_1 = \frac{x_{1n} - 62,5}{2,5}; x_2 = \frac{x_{2n} - 36}{4}; x_3 = \frac{x_{3n} - 0,5}{0,5}.$$

В данном случае модель имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1-2}x_1x_2 + b_{1-3}x_1x_3 + b_{2-3}x_2x_3 + b_{1-2-3}x_1x_2x_3.$$

Из-за невозможности проведения эксперимента, пользуемся имеющимися формулами, для определения низшей теплоты сгорания топлива. Теплота сгорания, газообразного топлива определяется по формулам

$$Q_{H(B)} = 0,01 \cdot \sum r_i \cdot Q_{H(B)i}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}, \quad (1)$$

$$Q_H = (295,4 \cdot n + 81,7) \cdot r \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}, \quad (2)$$

Составляем план проведения эксперимента, и сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента.

n	x_1	x_2	x_3	x_0	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{i1}	y_{i2}	\bar{y}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	21504,00	23279,60	22391,80
2	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	23296,00	24756,60	24026,30
3	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	21504,00	22626,00	22065,00
4	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	23296,00	24103,00	23699,50
5	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	21504,00	23197,90	22350,95
6	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	23296,00	24674,90	23985,45
7	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	21504,00	22544,30	22024,15
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	23296,00	24021,30	23658,65

Проведена проверка воспроизводимости опыта. Опыт считается воспроизводимым, если дисперсия выходного параметра y_i однородна в каждой точке факторного пространства. Проверяем однородность дисперсии по критерию Кочрена

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum S_i^2}. \quad (3)$$

Оценка дисперсии определяется для каждой точки факторного пространства

$$S_i^2 = \frac{(\sum y_i - \bar{y})^2}{n - 1}. \quad (4)$$

Расчет проводится в табличной форме и сводится в таблицу 3.

Таблица 3– Оценка дисперсии для каждой точки факторного пространства

n	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
si2	1576378	1066676	629442	325624	1434649	950683	541112	263030
Σsi2	6787594							

$$G_{\text{расч}} = \frac{1576378}{6787594} = 0,2322.$$

По таблице критериев Кохрена в зависимости от чисел степеней свободы $f_1 = n - 1 = 2 - 1 = 1$, $f_2 = N = 8$ и $\alpha = 0,99$ находим $G_{\text{табл}}$ и сравниваем его с расчетным значением. $G_{\text{табл}} = 0,79$.

$0,79 > 0,2322$ - гипотеза об однородности дисперсий принимается, дисперсия однородна.

Расчет оценок коэффициентов уравнения регрессии производится по методу наименьших квадратов. Расчет оценок коэффициентов регрессии производится по формуле

$$b_i = \frac{\sum (x_i \cdot \bar{y})}{N}. \quad (5)$$

Расчет проводится в табличной форме, рассчитанные значения коэффициентов регрессии сводим в таблицу 4.

Таблица 4 - Значения коэффициентов регрессии

b_1	b_2	b_3	b_0	b_{1-2}	b_{1-3}	b_{2-3}	b_{1-2-3}
1	2	3	4	5	6	7	8
817,25	-163,4	-20,425	23025,23	0	0	0	0

Проверка значимости коэффициентов регрессии. Гипотезу о статистической значимости (отличии от нуля) коэффициентов регрессии проверяют по критерию Стьюдента.

$$\Delta b_i = \pm t_\gamma \cdot S_{b_i}. \quad (6)$$

По таблице критериев Стьюдента в зависимости от числа степени свободы $f = (n - 1) \cdot N = (2 - 1) \cdot 8 = 8$ и $\gamma = 0,95$ находим t_γ . $t_\gamma = 2,306$.

Благодаря одинаковой удаленности всех экспериментальных точек факторного пространства от центра эксперимента, оценки всех коэффициентов уравнения регрессии независимо от их величины вычисляются с одинаковой погрешностью [5]

$$S_b^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{N}; \quad (7)$$

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum S_i^2}{n}; \quad (8)$$

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{6787594}{8} = 848449,21;$$

$$S_b^2 = \frac{848449,21}{16} = 53028,08;$$

$$S_b = \sqrt{S_b^2} = \sqrt{53028,08} = 230,28;$$

$$\Delta b_i = \pm 230,28 \cdot 2,306 = \pm 531,02.$$

После оценки коэффициентов регрессии, уравнение регрессии примет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1$$

Для дальнейших расчетов необходимо рассчитать значения полученной модели. Расчет ведем в табличной форме, данные расчета сводим в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчет значений полученной модели

n	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$y_{\text{мод}}$	22207,98	23842,48	22207,98	23842,48	22207,98	23842,48	22207,98	23842,48
Δy	183,83	183,83	-142,97	-142,97	142,97	142,98	-183,83	-183,83
$(\Delta y)^2$	33791,63	33791,63	20441,85	20441,85	20441,85	20441,85	33791,63	33791,63
$\Sigma(\Delta y)^2$	216933,92							

Проверяем адекватность полученной математической модели, по критерию Фишера.

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{адекв}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}; \quad (9)$$

$$S_{\text{адекв}}^2 = \frac{\Sigma \Delta y_i^2}{N - (k + 1)}; \quad (10)$$

$$S_{\text{адекв}}^2 = \frac{216933,92}{8 - (2 + 1)} = 4386,78;$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{адекв}}^2}{S_{\text{воспр}}^2} = \frac{4386,78}{848449,21} = 0,051.$$

По таблице критериев Фишера в зависимости от числа степени свободы $f_1 = (n - 1) = (2 - 1) = 1$, $f_2 = (n - 1) \cdot N = (2 - 1) \cdot 8 = 8$ и $\alpha = 0,95$ находим $F_{\text{табл}}$ и сравниваем его с расчетным значением. $F_{\text{табл}} = 5,34$.

$5,34 > 0,051$ – модель адекватна.

Проведем полный факторный эксперимент для трёх факторов (после очистки биогаза). Значения переменных x_i в натуральном масштабе при проведении факторного эксперимента приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Значения переменных x_i в натуральном масштабе

-	X_1 (CH ₄)	X_2 (CO ₂)	X_3 (H ₂)
1	2	3	4
Нижний уровень	97	1	1,8
Верхний уровень	90	0,1	0,1
Средний уровень	93,5	0,55	0,95
Интервал варьирования	3,5	0,45	0,85

Для удобства расчетов масштаб факторов выбираем так, чтобы значение верхнего уровня было равно +1, а нижнего –1. С этой целью делаем преобразование начала координат факторов и переходим к нормированному (стандартному) масштабу

$$x_1 = \frac{x_{1n} - 93,5}{3,5}; \quad x_2 = \frac{x_{2n} - 0,55}{0,45}; \quad x_3 = \frac{x_{3n} - 0,95}{0,85}.$$

В данном случае модель имеет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{1-2} x_1 x_2 + b_{1-3} x_1 x_3 + b_{2-3} x_2 x_3 + b_{1-2-3} x_1 x_2 x_3.$$

Из-за невозможности проведения эксперимента, пользуемся имеющимися формулами, для определения низшей теплоты сгорания топлива. Теплота сгорания, газообразного топлива определяется по формулам (1) и (2).

Составляем план проведения эксперимента, и сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Матрица планирования эксперимента.

n	x ₁	x ₂	x ₃	x ₀	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃	y _{i1}	y _{i2}	\bar{y}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	32256,00	34739,66	33497,83
2	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	34764,80	36807,46	35786,13
3	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	32256,00	34666,13	33461,07
4	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	34764,80	36733,93	35749,36
5	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	32256,00	34600,77	33428,39
6	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	34764,80	36668,57	35716,69
7	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	32256,00	34527,24	33391,62
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	34764,80	36595,04	35679,92

Проверка воспроизводимости опыта. Опыт считается воспроизводимым, если дисперсия выходного параметра y_i однородна в каждой точке факторного пространства. Проверяем однородность дисперсии по критерию Кохрена по формуле (3). Оценка дисперсии определяется для каждой точки факторного пространства по формуле (4)

Расчет проводится в табличной форме и сводится в таблицу 3.

Таблица 8 – Оценка дисперсии для каждой точки факторного пространства

n	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
s_i^2	3084284	2086230	2904363	1938736	2748973	1812170	2579266	1674889
Σs_i^2	18828911							

$$G_{\text{расч}} = \frac{3084284}{18828911} = 0,1638.$$

По таблице критериев Кохрена в зависимости от чисел степеней свободы $f_1 = n - 1 = 2 - 1 = 1$, $f_2 = N = 8$ и $\alpha = 0,99$ находим $G_{\text{табл}}$ и сравниваем его с расчетным значением. $G_{\text{табл}} = 0,79$.

$0,79 > 0,1638$ - гипотеза об однородности дисперсий принимается, дисперсия однородна.

Расчет оценок коэффициентов уравнения регрессии производится по методу наименьших квадратов. Расчет оценок коэффициентов регрессии производится по формуле (5).

Расчет проводится в табличной форме, рассчитанные значения коэффициентов регрессии сводим в таблицу 9.

Таблица 9 - Значения коэффициентов регрессии

b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₋₂	b ₁₋₃	b ₂₋₃	b ₁₋₂₋₃
1	2	3	4	5	6	7	8
34588,88	1144,15	-18,38	-34,72	0	0	0	0

Проверка значимости коэффициентов регрессии. Гипотезу о статистической значимости (отличии от нуля) коэффициентов регрессии проверяют по критерию Стьюдента по формуле (6).

По таблице критериев Стьюдента в зависимости от числа степени свободы $f = (n - 1) \cdot N = (2 - 1) \cdot 8 = 8$ и $\gamma = 0,95$ находим t_γ . $t_\gamma = 2,306$.

Благодаря одинаковой удаленности всех экспериментальных точек факторного пространства от центра эксперимента, оценки всех коэффициентов уравнения регрессии независимо от их величины вычисляются с одинаковой погрешностью по формулам (7) и (8).

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{18828911,3}{8} = 2353613,91;$$

$$S_b^2 = \frac{2353613,91}{16} = 147100,87;$$

$$S_b = \sqrt{S_b^2} = \sqrt{147100,87} = 383,54;$$

$$\Delta b_i = \pm 383,54 \cdot 2,306 = \pm 884,44.$$

После оценки коэффициентов регрессии, уравнение регрессии примет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1$$

Для дальнейших расчетов необходимо рассчитать значения полученной модели. Расчет ведем в табличной форме, данные расчета сводим в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчет значений полученной модели

n	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$y_{\text{мод}}$	33444,72	35733,02	33444,72	35733,03	33444,72	35733,02	33444,72	35733,02
Δy	53,11	53,11	16,34	16,34	-16,34	-16,34	-53,10	-53,10
$(\Delta y)^2$	2820,14	2820,14	267,00	267,00	267,00	267,00	2820,14	2820,14
$\Sigma(\Delta y)^2$	12348,55							

Проверяем адекватность полученной математической модели, по критерию Фишера по формулам (9) и (10).

$$S_{\text{адекв}}^2 = \frac{12348,55}{8 - (2 + 1)} = 2469,71;$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{2469,71}{2353613,91} = 0,0011.$$

По таблице критериев Фишера в зависимости от числа степени свободы $f_1 = (n - 1) = (2 - 1) = 1$, $f_2 = (n - 1) \cdot N = (2 - 1) \cdot 8 = 8$ и $\alpha = 0,95$ находим $F_{\text{табл}}$ и сравниваем его с расчетным значением. $F_{\text{табл}} = 5,34$.

$5,34 > 0,0013$ – модель адекватна.

Для сравнения данных моделей, построим зависимость калорийности топлива от содержания в нем метана (CH_4) по полученным данным математической модели. Необходимо рассчитать калорийность газа в зависимости от содержания метана до и после его очистки по полученной математической модели. Графики строим по полученным данным. Данные сведены в таблицы 11 и 12. Графики приведены на рисунках 1 и 2.

Таблица 11 – Калорийность биогаза до очистки

Содержание CH_4 , %	60	61	62	63	64	65
Калорийность биогаза, кДж/м^3	23516	23524	23532	23540	23548	23556

Таблица 12 – Калорийность биогаза после очистки

Содержание CH_4 , %	90	91	92	93	94	95	96	97
Калорийность биогаза, кДж/м^3	35619	35630	35641	35653	35664	35676	35687	35699

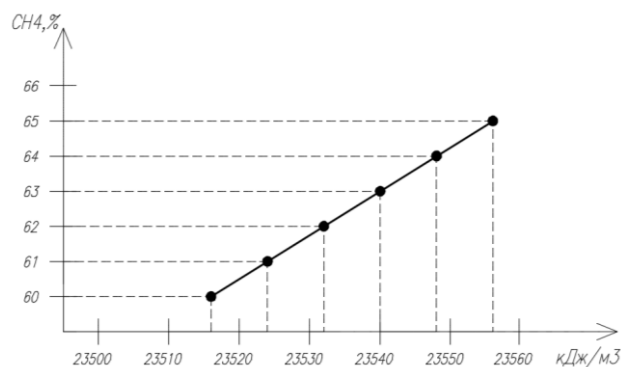


Рисунок 1 – Зависимость калорийности топлива от содержания метана до очистки

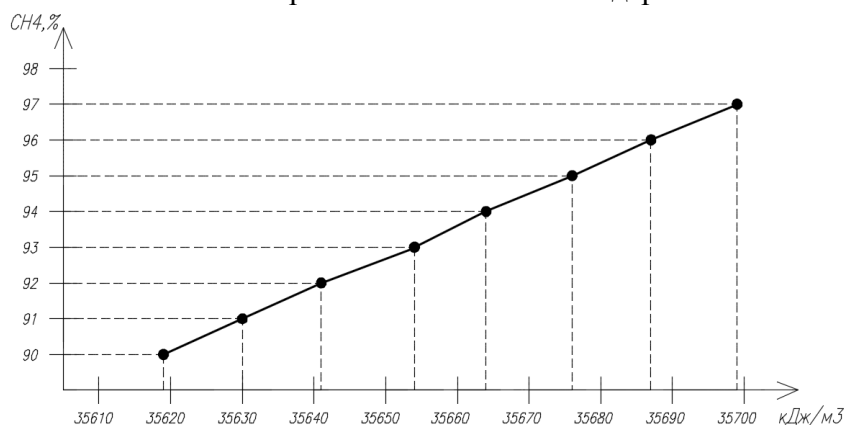


Рисунок 2 – Зависимость калорийности топлива от содержания метана после очистки

Из анализа графиков следует, что после очистки биогаза от примесей его калорийность увеличилась на 34%. Это означает, что эффективность сжигания данного топлива тоже увеличилась.

Используя результаты математического моделирования возможно для любого полученного состава биогаза определить его низшую теплоту сгорания, а затем рассчитать число Воббе и решить вопрос о возможности сжигания этого топлива в газогорелочном устройстве теплогенератора, имеющегося на данном сельско-хозяйственном предприятии.

Список литературы

1. Использование птичьего помета на биогазовых установках. Презентация корпорации БИОГАЗЭНЕРГОСТРОЙ - 109240, г. Москва, ул. Верхняя Радищевская, д. 7.- С. 75.
2. Ковалев А.А. Экологическая оценка биоэнергетической установки / А.А. Ковалев, В.С. Федотов, Л.И. Ульченко, Р.А. Мельник // НТБ по электрификации сельского хозяйства. Вып. 2. М., 1989. – С. 58-61.
3. Рогов, В.А. Методика и практика технических экспериментов: учебное пособие для вузов / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – М. : Академия, 2005. – 283 с.
4. Глудких О.П. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов : учебник для вузов / В.Г. Блохин, О.П. Глудких, А.И. Гуров, Н.А. Ханин // – М. : Радио и связь, 1997. – 232 с.
5. Роддатиса, К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности. - М.: Энергия, 1989 – 487 с.

УДК 662.61:662.66

Лукьянов Александр Васильевич,
д. т. н., профессор,
зав. кафедрой теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Пенкина Людмила Сергеевна,
магистрант кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЛОАГРЕГАТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассматривается возможность использования водоугольного топлива как альтернативы мазуту и газу. С учетом того, что уголь дешевле мазута и газа, необходимы новые технологии, позволяющие использовать достоинства угля, но свести к минимуму сложности его применения. Большое внимание уделяется процессу приготовления водоугольного топлива, перечислены качественные показатели улучшения топлива по экологическим показателям. Предлагается использование мокрого помола в шаровых мельницах для лучшего дробления фракций угля. Принципиально важным решением для угольной энергетики может стать переход от прямого сжигания угля в различных топочных устройствах на приготовление из углей различных марок, в том числе и из отходов углеобогащения, водоугольного топлива.

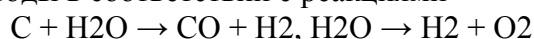
Ключевые слова: уголь, фракция, дисперсия, водоугольное топливо, сжигание, помол

Водоугольное топливо (ВУТ) – дисперсная система, в которой в качестве горючей основы используются энергетические и неэнергетические угли и которое получают путём смешивания раздробленного угля, воды и пластификатора. В основном как альтернатива природному газу используется на теплогенерирующих объектах. Позволяет значительно снизить затраты при производстве тепловой и электрической энергии.

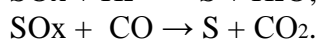
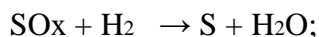
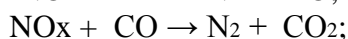
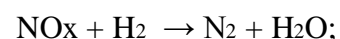
Особенностью большинства энергетических углей является их невысокое качество. При сжигании энергетических углей образуется зола уноса, которая является продуктом взаимодействия минералов и минеральных компонентов, составляющих неорганическую часть топлива. Твердое топливо разнообразно по составу. На территории Донецкой Народной Республике преобладают высокзолые и высокосернистые угли.

Одной из центральных проблем энергетики, является эффективное и рациональное экологически безопасное использование угля. Потребление угля для производства тепловой энергии связано с необходимостью проведения работ по переводу районных котельных и тепловых электростанций с природного газа и нефтепродуктов на уголь.

Вода, присутствующая в ВУТ, помогает формированию характерных химических реакций в процессе горения. Взаимодействие перегретого пара с углеродом топлива и термическая диссоциация воды в соответствии с реакциями



способствуют образованию водорода и кислорода. Кислород усиливает процессы горения, а водород и монооксид углерода (угарный газ, окись углерода, оксид углерода (II)) являются сильными восстановителями, за счет которых уменьшается содержания оксидов азота и серы в уходящих газах



ВУТ на 60-70% состоит из мелкоизмельченного угля, 30-40% воды и пластификатора, их использование обеспечивает длительную стабильность частиц угля. Вода в составе ВУТ обеспечивает снижение вредных выбросов в атмосферу и превращает уголь в безопасный материал, который считается взрывобезопасным и пожаробезопасным. Снижается токсичность во всех технологических операциях, отсутствует пыль при приготовлении, транспортировке и хранении, при сжигании снижается количество вредных выбросов в атмосферу, при хранении и транспортировке сохраняются технологические свойства, за счет этого появляется возможность транспортировки трубопроводным, речным, морским, автомобильным и железнодорожным транспортом. Также возникает возможность комплексной механизации и автоматизации процессов приготовления, транспортирования и сжигания топлива [1].

Тонна водоугольного топлива по расчетам исследователей [2] в данном вопросе стоит в 2-3 раза дешевле, чем тонна мазута. ВУТ экологически чище: выбросы вредных окислов азота снижаются в 1,5 раза, окисей углерода в 2 раза, а бензопирена (образуется при сгорании углеводородного жидкого, твердого и газообразного топлива) в 5 раз.

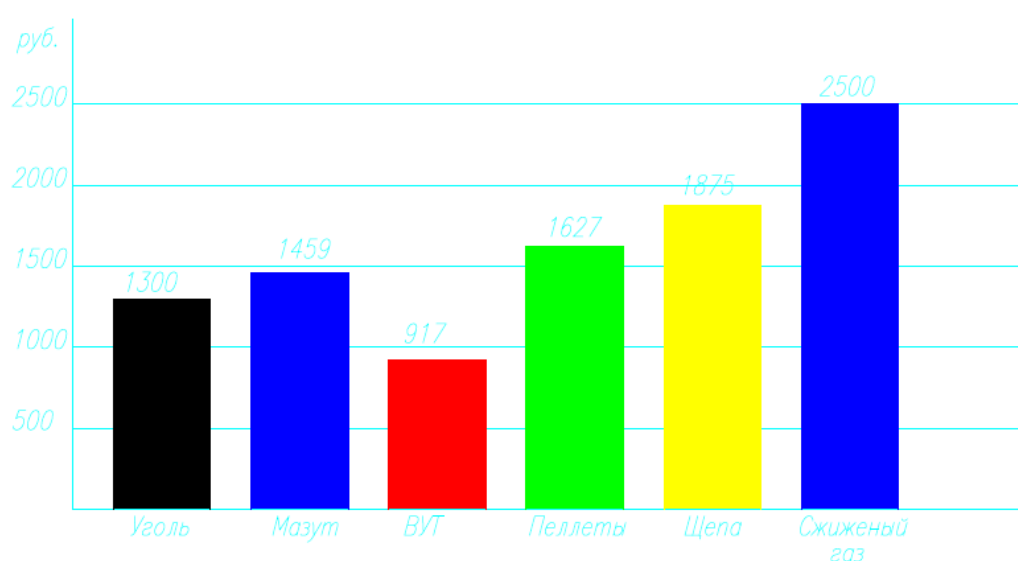


Рисунок 1- Стоимость топливной составляющей 1МВт

При анализе данных (рис.1) по стоимости топлива, можно сделать выводы, что использование ВУТ экономически выгодно.

Процесс производства ВУТ топлива состоит из трех основных этапов. Уголь газовых марок доставляется на открытую площадку. В приемный бункер двухвалковой дробилки подается уголь фронтальным погрузчиком. Главным этапом является предварительное дробление угля до размера фракции 3-12 мм. Если в качестве сырья используется угольный шлам с мелкими фракциями, то данную стадию можно исключить. Измельчение угля является основной задачей, в процессе производства ВУТ. Стабильность процесса горения угля зависит от процесса измельчения угля с заданными параметрами.

Для дробления угля используют шаровые мельницы мокрого помола до фракции меньше 3-150 мкм. От качества и тонкости помола зависят дальнейшие характеристики ВУТ, такие как вязкость и стабильность. Затем происходит гомогенизация, на которой устраняются неравномерности распределения частиц угля внутри суспензии, добавляются пластификаторы и стабилизаторы. На последней стадии ВУТ приобретает необходимые гомогенные свойства.

Экологический показатель использования того или иного топлива в котельных определяется из расчета рассеивания выбросов.

Расчёт выбросов твёрдых частиц летучей золы и не догоревшего топлива, т/год (г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата при сжигании водоугольного топлива, выполняется по формуле

$$M_{TB} = 0,01 \cdot B \left(\alpha_{yn} \cdot A^{\gamma} + q_4^{ym} \cdot \frac{Q_i^{\gamma}}{32,68} \right) \cdot (1 - \eta_3), \quad (1)$$

где B - расход водоугольного топлива, т/год (г/с);

α_{yn} - доля золы топлива в уносе;

A^{γ} - зольность топлива на рабочую массу, %;

q_4^{ym} - потери тепла с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %;

Q_i^{γ} - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

η_3 - доля твёрдых частиц, улавливаемых в золоуловителях.

Изготовленное водоугольное топливо, сохраняет свою стабильность в течение двух суток. Современное оборудование позволяет поднять эту стабильность до двух недель. Ограниченная стабильность вынуждает использовать добавки-пластификаторы (облегчают диспергирование ингредиентов, улучшают морозостойкость, снижают температуру технологической обработки композиций) или специальные способы обработки, когда необходимо увеличить срок хранения ВУТ, что удорожает само топливо. Такой подход позволяет иметь сменный или суточный запас ВУТ в непосредственной близости от потребителя. Основной запас топлива в этом случае обеспечивается за счёт запасов исходного угля.

Перспективность ВУТ основывается на новой технологии приготовления этого топлива, а именно – кавитационной, характеризующейся высоким уровнем местного динамического компрессионного и температурного воздействия на обрабатываемый материал. В результате твердый компонент смеси (уголь) измельчается до заданной степени дисперсности, а суспензия приобретает новые свойства, выгодно отличающие от получаемой традиционным способом, в том числе:

- стабильность на протяжении длительного времени и пластичность при достигнутом содержании твердого компонента до 70%;

- при замерзании топливо не увеличивает свой объем, а после размораживания восстанавливается к исходным свойствам;

- полностью высушенное или частично обезвоженное топливо переходит при добавлении воды в состояние устойчивой суспензии без механического побуждения [3].

Вывод.

Одним из направлений для угольной энергетики может стать переход от прямого сжигания угля в различных топочных устройствах на приготовление из углей различных марок, водоугольного топлива. Водоугольное топливо имеет свойства, позволяющие заменить твердое, жидкое или газообразное топлива в различных топливопотребляющих агрегатах без существенной их реконструкции. По экономическим расчетам ВУТ считается экономически выгодной заменой мазута и сжиженного газа в системах теплоснабжения и обладает преимуществом в хранении и транспортировке на длительный срок.

1. Долинский А.А. Водугольное топливо: использование в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе / А.А. Долинский, А.А. Халатов // Пром. теплотехника, 2007. - т. 29. - № 5. – С. 70-79.
2. Водугольное топливо – технология будущего. Водугольное топливо [Электронный ресурс] // ЗАО Институт «Севзапэнергомонтажпроект» – URL: <https://10i5.ru/raznoe/vodougolnoe-toplivo.html>
3. Газета "Энергетика и промышленность России" № 5 (81) май 2007 года.-С.38. – URL: www.eprussia.ru

УДК 504.054:622

Пыжова Елена Владимировна,
бакалавр кафедры техносферной безопасности;
Калинин Олег Николаевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры техносферной безопасности
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

РЕЦИКЛИНГ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ДОЛОМИТОВОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВ

В данной статье была исследована возможность использования промышленных отходов в качестве техногенного сырья в производстве строительных материалов. Разработана технология использования доломитовой пыли и гранулированного доменного шлака в качестве сырья для производства строительных материалов, установлен оптимальный шихтовый состав образцов.

Ключевые слова: доломитовая пыль, металлургическая промышленность, шамот, прочность на сжатие, отход, граншлак

Ввиду производственной активности Докучаевского флюсо-доломитного комбината, являющегося крупнейшим производителем обожженного металлургического доломита, флюсов и огнеупоров на территории ДНР, данная цель является актуальной научно-технической задачей. Предмет исследования имеет практическое значение и область реализации.

Доломитовая пыль — это отход металлургической промышленности, получаемый при обжиге доломита в вагранках. Свежая доломитовая пыль состоит в основном из CaO и MgO , которые при хранении постепенно переходят в CaCO_3 и MgCO_3 . По нейтрализующей способности 1 т доломитовой пыли соответствует 1,5 т CaCO_3 [5].

Химический и гранулометрический составы доломита и доломитной пыли представлены в таблице 1 [6].

Таблица 1 - Химический и гранулометрический составы доломита и доломитной пыли

Вид сырья	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	П.П.П
Доломитовая пыль	12,14%	24,66%	12,00%	10,00%	12,00%	29,17%
Сырой доломит	29,83%	20,53%	2,15%	0,52%	0,60%	45,95%

Согласно данным, предоставленным ОАО «Докучаевский флюсо - доломитный комбинат» [6], в процессе измельчения сырого доломита до нужных фракций ежегодно образуется порядка 250000 – 260000 тонн, а отходов в виде доломитовой пыли 10000 – 12000 т/год. Доломитовый отсев имеет все преимущества доломитового щебня, отличающие его от других минеральных наполнителей, но при этом он намного дешевле щебня или крошки. Доломитовая пыль не требует размолла, однако при высеве сеялкой необходимо отсеивать крупные и твердые частицы. [3, с 25].

Для определения влияния доломитовой пыли, являющейся отходом металлургической промышленности, на свойства огнеупорного покрытий были приготовлены и исследованы обмазки составов, приведенных в таблице 2. Доломитовая пыль предварительно подвергалась термообработке при 1000 °С.

Подготовка сырьевых материалов и приготовление образцов.

В лабораторных условиях подготовка материалов заключалась в измельчении, фракционировании и взвешивании. Граншлак разделили на две части, первую часть использовали как заполнитель, брали крупностью не более 5-10 мм, а вторую часть размалывали в шаровой мельнице с мелющими телами до тонкости 3000 см²/г, до полного прохода через сито 008. Доломитовый отсев оставили в первоначальном состоянии. Для обеспечения лучшей прочности добавили лигносульфонат технический (ЛСТ). Всего было 9 рецептов, по каждому рецепту было спрессовано 6 образцов, всего 54 образца. Дозирование сырьевых материалов проводили на технических весах, согласно рецептуре (таблица 2).

Таблица 2 – Рецептура шихты

Образец	Доломитовый отсев, %	Граншлак, %	Тонкомолотый граншлак, %	Вода + ЛСТ %
1	20	50	30	6-7
2	20	40	40	6-7
3	20	30	50	6-7
4	30	30	40	6-7
5	30	40	30	6-7
6	30	50	20	6-7
7	40	10	50	6-7
8	40	30	30	6-7
9	40	20	40	6-7

Взвешенные исходные материалы поместили в металлическую емкость, тщательно перемешали в сухом виде и добавили воду согласно рецепту. Для обеспечения лучшей прочности добавили лигносульфонат технический (ЛСТ), в количестве 1 % в пересчете на сухое вещество от исходной шихты. Снова перемешали для получения однородной массы.

Прессование осуществляли на ручном прессе. После того, как спрессовали изделие, его оставили на стеллаже на 24 ч. После этого для ускорения твердения, просохшие образцы поместили в специальную пропарочную камеру, которая нагревалась при помощи электрической печи.

Определение свойств. Механическая прочность на сжатие.

В лабораторных условиях готовые образцы испытывали на механическую прочность, а именно на сжатие. Испытание осуществляли на гидравлическом прессе. Схема гидравлического пресса приведена на рисунке 1.

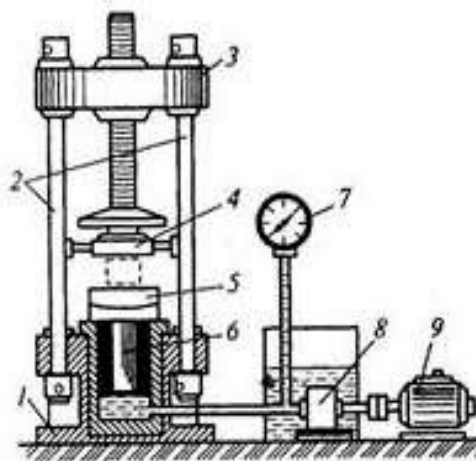


Рисунок 1 – Схемы гидравлического пресса

1 – станина; 2 – стойка; 3 – траверса; 4, 5 – плиты; 6 – поршень; 7 – силоизмерительное устройство; 8 – насос; 9 – электродвигатель

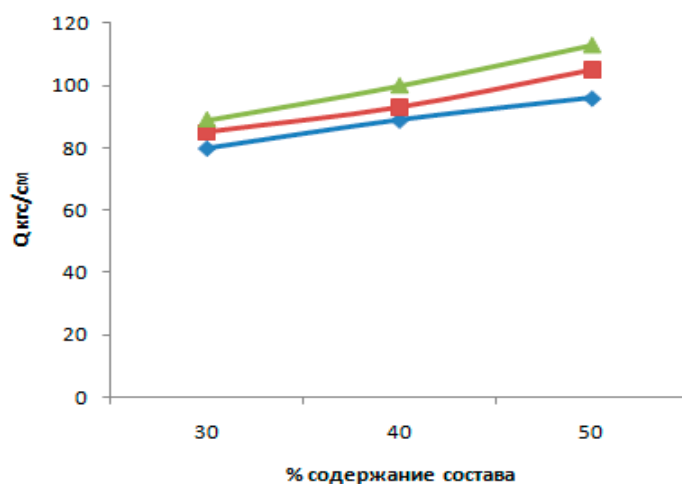
Каждый образец перед испытанием был очищен от шероховатостей и пыли. Устанавливали изделия по центру опорной плиты и включали пресс. Нагрузку увеличивали постепенно до момента разрушения образца. Для точности эксперимента испытания проводили по 3 раза для каждого образца.

Результаты исследования образцов на предел прочности занесены в таблицу 3.

Таблица 3 - Предел прочности

Рецепт №	Предел прочности, МПа		
	Время пропарки		
	2 ч	4 ч	6 ч
1	8	8,9	9,6
2	8,5	9,3	10,5
3	8,9	10,0	11,3
4	13,4	14,2	15,0
5	14,5	15,1	16,3
6	15,2	16,8	18,0
7	18,3	21,0	22,5
8	16,0	17,6	19,2
9	17,5	19,4	20,5

На рисунках 2-4 приведены результаты исследований



- ◆ – 20 % ДО, 50 % ГШ, 30 % ТМГШ
- ▲ – 20 % ДО, 40 % ГШ, 40 % ТМГШ
- – 20 % ДО, 30 % ГШ, 50 % ТМГШ

Рисунок 2 – Зависимость механической прочности от состава шихты с 20 % доломитового отсева

Исходя из таблицы 2 и графика, представленного на рисунке 3, можно сделать вывод, что образцы, приготовленные по рецепту № 7 и содержащие 40% доломитового отсева, 10% граншлака, 50% тонкомолотого граншлака, обладают лучшей прочностью. С увеличением времени пропаривания улучшаются прочностные свойства изделия.

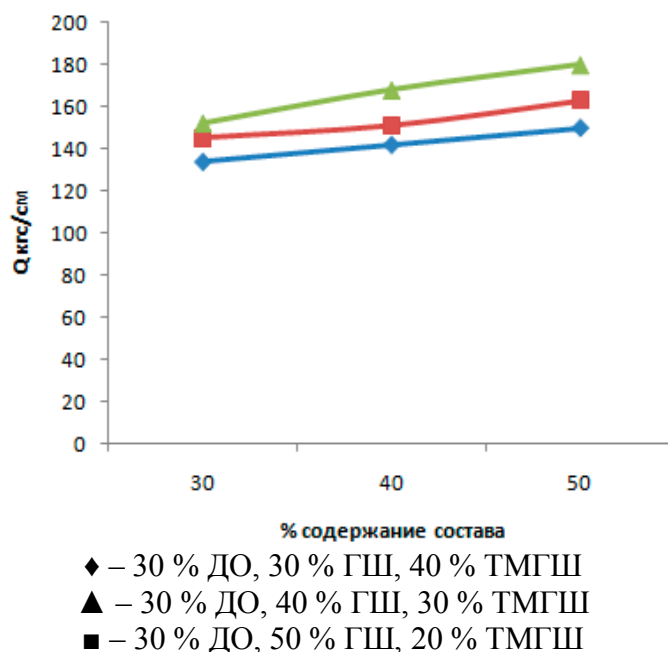


Рисунок 3 – Зависимость механической прочности от состава шихты с 30 % доломитового отсева

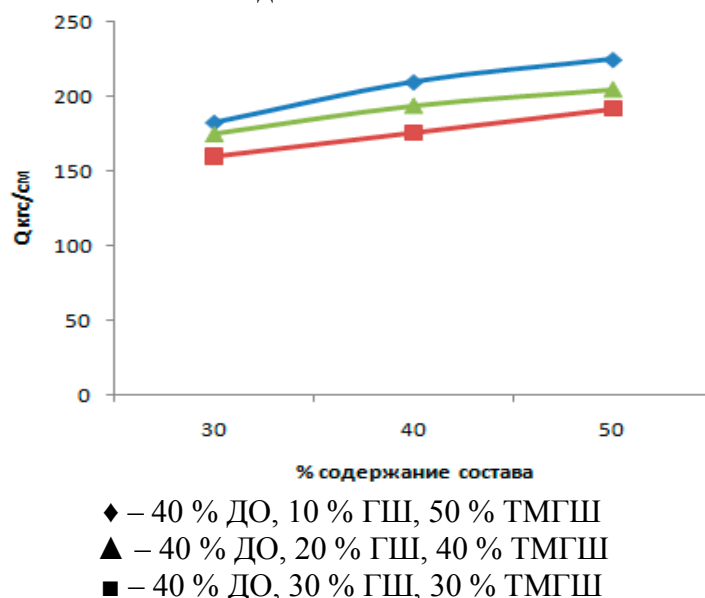


Рисунок 4 – Зависимость механической прочности от состава шихты с 40 % доломитового отсева

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований были решены следующие задачи:

1. Экспериментально обоснован выбор направления утилизации техногенных отходов доломитового и металлургического производства, которые по своему составу и свойствам в большинстве случаев пригодны к использованию в производстве строительных материалов.

2. Установлено, что на основе отходов доломитового производства, играющих роль наполнителя и доменного гранулированного шлака выступающего в роли связующего, возможно получение тротуарной плитки и шлакоблоков.

3. Определен оптимальный шихтовой состав, содержащий 40% доломитового отсева, 10% гранулированного граншлака, 50% тонкомолотого граншлака.

Список литературы

1. Попов Л.Н. Строительные материалы и детали. – М.: Стройиздат, 1986. - 335 с.
2. Паращенко О.Д. Контроль качества строительных материалов / О.Д. Паращенко, А.С. Шульга, К.А. Валешко // - К.: Будівельник, 1985. - 96 с.
3. Пальгунов П.П. Утилизация отходов / П.П. Пальгунов, М.В. Сумарохов. - М.: Стройиздат, 1990. - 352 с.
4. Болдырев А.С. Строительные материалы: Справочник / А.С. Болдырев, П.П. Золотов, А.Н. Люсов. - М.: Стройиздат, 1989. - 567 с.
5. Известковые отходы промышленности [Электронный ресурс]. — URL: <http://agroportal24.ru/agrohimiya/686-belitovaya-muka.html>.
6. Инвентаризация отходов производства «Докучаевского флюсо-доломитного комбината». Форма ОТ – 4 от 06.09.17 г. № 208.-С. 45.
7. Доломиты [Электронный ресурс]. — URL: <https://ru-ecology.info/term/42993/>.

УДК 621.577

Полковников Алексей Андреевич,
студент 4-го курса, кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Потапенко Ольга Владимировна,
студентка 4-го курса, кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Удовиченко Злата Викторовна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ТГВ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В работе рассмотрены вопросы энергосбережения в системах теплоснабжения с помощью теплонасосных установок (ТНУ), использующих низкопотенциальную тепловую энергию. Проведен анализ энергетической эффективности ТНУ в сравнении с котельной. Определены показатели экономической целесообразности замещения тех или иных нагрузок котельной за счет использования ТНУ для различных потребителей.

Ключевые слова: тепловой насос, энергосбережение, теплоснабжение, котельная, низкопотенциальный источник теплоты.

Введение. Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Несмотря на увеличение доли использования возобновляемых источников энергии, основным видом топлива остается органическое. В такой ситуации при современном росте потребления тепловой энергии экологическая обстановка будет значительно ухудшаться. Поэтому вопросам получения тепловой энергии с использованием альтернативных источников придается особое значение. Значительным потенциалом энергосбережения обладает внедрение теплонасосных установок, которые обеспечивают возможность использования в теплоснабжении низкопотенциальной тепловой энергии различных источников: атмосферного воздуха, грунта, сточных и шахтных вод и т.д.

Основное содержание. Теплонасосные установки (ТНУ), как правило, потребляют в 1,2...2,3 раза меньше первичной энергии, чем при традиционном теплоснабжении. Из 1 кВт электрической мощности, которая затрачивается на обеспечение работы тепловых насосов (ТН), может получаться 2...6 кВт тепловой мощности на выходе в зависимости от условий. Применение ТНУ способствует защите окружающей среды за счет сокращения теплового загрязнения и снижения количества вредных выбросов продуктов сгорания [1,2].

Термодинамическую эффективность работы теплового насоса характеризует коэффициент преобразования энергии, который равен отношению тепловой энергии, подводимой к горячему источнику, к работе, подводимой к тепловому насосу

$$\mu = \frac{Q}{L}. \quad (1)$$

Коэффициент преобразования энергии всегда больше единицы и существенно зависит от разности температуры рабочего тела в ТН и низкопотенциального источника энергии.

Различные типы ТН используют либо непосредственно подводимую работу (например, ТНУ компрессионного типа), либо работоспособность высокотемпературного источника тепла (например, абсорбционные ТН). Для топливно-энергетического баланса важной характеристикой является потребление исходного топлива и производство конечной теплоты, что позволяет сравнивать любые типы ТН [1].

Для анализа энергетической эффективности используем значение удельного расхода условного топлива. Удельный расход условного топлива на производство и передачу тепловой энергии при использовании ТН компрессионного типа b_T^{THV} , г у.т./кВт·ч, имеет вид

$$b_T^{THV} = \frac{122,9}{\mu \cdot \eta_{\text{эл.тн}}^{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{эс}}^{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{тс}}^{\text{кот}}} \quad (2)$$

Определим, при каких значениях μ использование ТН выгоднее котельной, записав соответствующее выражение для экономии топлива, Δb_T , г у.т./кВт·ч

$$\Delta b_T = \Delta b_T^{\text{кот}} - \Delta b_T^{\text{тну}} = 122,9 \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{нт}}^{\text{кот}} \cdot \eta_{\text{тс}}^{\text{кот}}} - \frac{1}{\mu \cdot \eta_{\text{эл.тн}}^{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{эс}}^{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{тс}}^{\text{кот}}} \right) \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что при

$$\mu > \frac{\eta_{\text{нт}}^{\text{кот}}}{\eta_{\text{эл.тн}}^{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{эс}}^{\text{кэс}}}, \quad (4)$$

более выгодной является схема на базе ТН. Например, при $\eta_{\text{нт}}^{\text{кот}} = 0,9$ и $\eta_{\text{эл.тн}}^{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{эс}}^{\text{кэс}} = 0,35$ получим значение $\mu > 2,57$. Значение коэффициента $\mu = 2,57$ показывает, что эффективность использования первичного топлива в котельной и ТНУ будут равны между собой. Значение коэффициента преобразования энергии в современных ТН могут быть как выше, так и ниже полученного, поэтому более рациональной будет бинарная схема выработки тепловой энергии с использованием котла и ТНУ.

Кроме энергетической оценки целесообразности использования ТНУ, есть и чисто экономическая. Экономическая оценка позволяет определить значение μ , при котором выгодно внедрять ТН при сложившихся в стране ценах и тарифах. Одним из основных критериев оценки целесообразности вложения денежных ресурсов в ТНУ является срок окупаемости капиталовложений.

Простой срок окупаемости капиталовложений при замещении нагрузки котельной тепловым насосом, потребляющим электроэнергию, приближенно можно оценить по формуле, $T_{\text{ок}}$, лет

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\left(b_{\text{кот}} \cdot C_T - \frac{C_{\text{эл.эн}}}{\mu} \right) \cdot n_{\text{ч}}} \quad (5)$$

Удельные капиталовложения, учитывающие стоимость самого ТН, а также работы, связанные с проектом, монтажом и пуско-наладочными работами (K) составляют порядка 8...22 тыс.руб/к·В. Из формулы (5) видно, что срок окупаемости ТН будет снижаться с ростом коэффициента преобразования энергии μ , увеличением числа часов использования установленной мощности и снижением отношения $C_{\text{эл.эн}} / C_T$.

Таким образом, на основании выражения (5) можно выполнить предварительную оценку целесообразности замещения тех или иных нагрузок котельной за счет использования ТН конкретного типа в конкретных условиях.

Из выражения (5) также следует, что мероприятие будет окупаемым при условии

$$\mu > \frac{C_{\text{эл.эн}}}{b_{\text{кот}} \cdot C_T} = \mu^* \quad (6)$$

Для производства 1 кВт·ч тепловой энергии в котельной с $\eta_{HT}^{кот} = 0,9$ необходимо затратить 0,12 м³ топлива, имеющего низшую теплоту сгорания 33,5 МДж/м³. Сегодня цены на энергоносители в ДНР зависят от категории потребителей и количества годового потребления. Таким образом, для каждого случая на основании выражения (6) с учетом тарифов на природный газ и электроэнергию на декабрь 2019 г. можно определить значение равновесного показателя ТН, при котором его установка будет окупаемой. Рассчитанные значения занесем в таблица 1.

Таблица 1 - Значения равновесного показателя теплового насоса [3]

№ п/п	Категории потребителей	Годовое потребление газа, м ³	Тариф газа, руб/тыс. м ³	Топливная составляющая себестоимости тепла в котельной, руб/кВт·ч	Тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч	μ^*
1	Население	≤ 2500	2178	0,24	0,6168	2,57
		≤ 6000	3576	0,30		2,06
		>6000	7290	0,72		0,86
2	Промышленные потребители, предприниматели, бюджетные организации, субъекты хозяйствования, которые вырабатывают тепловую энергию	≤ 2500	13168	0,24	3,467	14,44
		≤ 6000		0,30		11,55
		>6000		0,72		4,81

Как видно из табл. 1, для населения с потреблением газа менее 6000 м³ использование ТНУ возможно и целесообразно. Часть населения с потреблением газа более 6000 м³ является незначительной, поэтому существенного влияния на показатели целесообразности применения ТНУ в среднем не имеют. Для промышленных потребителей, предпринимателей, бюджетных организаций, субъектов хозяйствования, которые вырабатывают тепловую энергию, использовать ТНУ экономически нецелесообразно.

На сегодняшний день для решения проблем энергосбережения ТН считаются достаточно перспективными среди альтернативных источников энергетики благодаря возможности черпать возобновляемую энергию из окружающей среды.

С позиции экономии топливных ресурсов ТН выгодно эксплуатировать при значении коэффициента преобразования энергии равного от 2,5 и выше. Однако при существующих ценах на топливо и электроэнергию, а также имеющемся дифференцированном подходе к потребителям газообразного топлива, для большинства потребителей это экономически нецелесообразно.

Список литературы

1. Колесниченко Н.В. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине / Н.В. Колесниченко, Г.Е. Константинов, М.А. Дмитренко // Промышленная теплотехника, 2011. - №5. - т.33. – С. 67-73.
2. Токмеников К.А. Перспективы и эффективность использования тепловых насосов / К.А. Токмеников, В.А. Широченко // Вестник Белорусско-Российского университета, 2010. – №2. – С.93-100.
3. Республиканская служба по тарифам Донецкой Народной Республики (Электронный ресурс). URL: <http://rst-dnr.ru>.

УДК 697.34

Монах Светлана Игоревна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Селин Дмитрий Юрьевич,
Ткаченко Алексей Васильевич,
магистранты гр. ЗТГВмб-49,
кафедры кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В НЕОДНОРОДНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

В данной статье рассмотрено моделирование температурных полей неоднородных строительных конструкций, таких как конструкции с повышенными теплозащитными свойствами, содержащие воздушные прослойки, утепляющие вставки, а также различные теплопроводные включения и сопряженные места оконных блоков. Целью данной работы является получение математической модели для расчета двумерных полей температур в неоднородных наружных ограждениях.

Ключевые слова: неоднородные наружные ограждения; двумерные температурные поля; метод релаксации; градиент температуры; уравнение Лапласа; узловая точка релаксационной решетки; релаксация температурного поля

СНиП 23-02-23 «Тепловая защита зданий» и ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» рекомендуют теплотери и температуру внутренней поверхности термически неоднородной ограждающей конструкции в зонах теплопроводных включений, в углах, откосах оконных и дверных проемов, в воздушных прослойках; температуру внутренней поверхности светопроницаемых ограждающих конструкций в зонах створок, коробок, импостов, дистанционных рамок определять на основании расчетов двумерных или трехмерных температурных полей. При этом в этих нормативных документах нет указаний или рекомендаций по выбору расчетного метода таких температурных полей.

Поэтому актуальными являются определение математической модели температурных полей в неоднородных наружных ограждениях и определение методики их расчета.

Для расчета температурных полей целесообразно использовать метод релаксации [1], а для оценки температур в воздушных прослойках в расчет необходимо ввести эквивалентный коэффициент теплопроводности [5].

Выбор релаксационного метода обусловлен его простотой и надежностью. Метод применим к стационарным процессам с известными граничными условиями. Применительно к задачам теплопроводности этот метод изложен достаточно хорошо. Решению инженерных задач с помощью метода релаксации посвящено достаточно много работ.

При использовании метода релаксации изучаемое тело разбивается на соответствующее количество малых объемов и присваивается центральным точкам каждого из объемов определенный номер в соответствии с рисунком 1 а.

Предполагается, что в каждом элементарном объеме температура постоянна и равна температуре в узловой точке.

Затем эти элементарные объемы заменяются сеткой «условных» теплопередающих стержней между узловыми точками в соответствии с рисунком 1 б.

Каждый стержень обладает соответствующей внутренней теплопроводностью. Установившийся линейный тепловой поток в стержне будет приблизительно равен

установившемся тепловому потоку между узловыми точками двух элементарных объемов, которые были заменены «условным» стержнем.

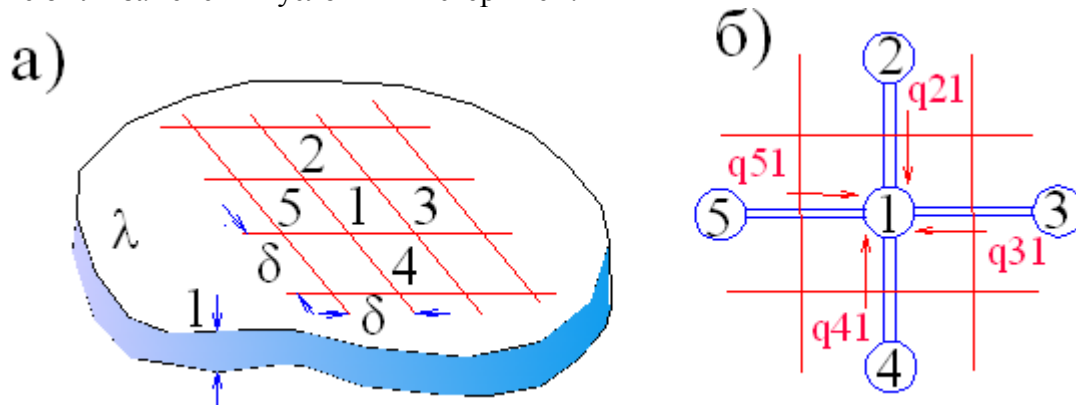


Рисунок 1 - Метод релаксации:

а) построение сетки для двумерной системы; б) вид сбоку на ячейку релаксации

В действительности в каждом элементарном объеме имеет место градиент температуры $\frac{dT}{dx}$, и для лучшего приближения следует Δx выбирать как можно меньшим, чтобы величина $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ стремилась к величине $\frac{dT}{dx}$.

Для расчета теплового потока в элементарном объеме может быть использована формула переноса теплоты теплопроводностью для плоской стенки, полученная на основе закона Фурье

$$Q_{ik} = \frac{\lambda}{\delta} F (T_i - T_k), \quad (1)$$

где T_i - наибольшее значение температуры, К;

T_k - наименьшее значение температуры, К;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Приняв такое допущение можно рассчитать количество теплоты, протекающее по каждому стержню.

Для горизонтального стержня

$$Q_{ik} = \frac{\lambda}{\Delta x} \Delta y (T_i - T_k). \quad (2)$$

Для вертикального стержня

$$Q_{ik} = \frac{\lambda}{\Delta y} \Delta x (T_i - T_k). \quad (3)$$

Для любого стержня

$$Q_{ik} = \lambda \cdot L (T_i - T_k). \quad (4)$$

где L – длина стержня.

Каждая из точек решетки в зависимости от ситуации рассматривается то как узловая, то как окружающая.

Соотношение между температурами в отдельных точках может быть получено из известного положения: если значение функции ($T=f(x,y)$) известно в какой-либо точке (T_0), то ее значение в окрестности этой точки определяются с любой степенью точности в соответствии с рисунком 2.

$$T_3 = T_0 + \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_0 \cdot \Delta x + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)_0 \cdot \frac{(\Delta x)^2}{2} + \left(\frac{\partial^3 T}{\partial x^3}\right)_0 \cdot \frac{(\Delta x)^3}{3} + \left(\frac{\partial^4 T}{\partial x^4}\right)_0 \cdot \frac{(\Delta x)^4}{4}; \quad (5)$$

$$T_1 = T_0 - \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_0 \cdot \Delta x + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)_0 \cdot \frac{(\Delta x)^2}{2} - \left(\frac{\partial^3 T}{\partial x^3}\right)_0 \cdot \frac{(\Delta x)^3}{3} + \left(\frac{\partial^4 T}{\partial x^4}\right)_0 \cdot \frac{(\Delta x)^4}{4}. \quad (6)$$

После почленного сложения уравнений (5) и (6) получим

$$T_1 + T_3 = 2T_0 + 2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \cdot \frac{(\Delta x)^2}{2} + \left(\frac{\partial^4 T}{\partial x^4} \right) \cdot \frac{(\Delta x)^4}{4}.$$

Ограничившись первым членом убывающего ряда можно получить

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_1 + T_3 - 2T_0}{(\Delta x)^2} \quad (7)$$

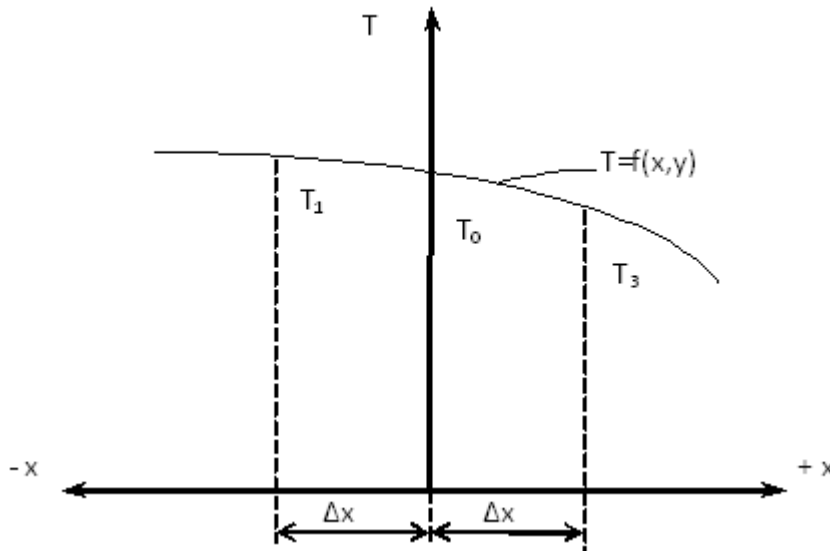


Рисунок 2 - К определению функции $T=f(x,y)$

Таким же образом получаем

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_2 + T_4 - 2T_0}{(\Delta y)^2}. \quad (7)$$

Для квадратной ячейки: $\Delta x = \Delta y$ поэтом

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - 4T_0}{(\Delta x)^2}.$$

Стационарное двумерное температурное поле описывается уравнением Лапласа

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0. \quad (8)$$

Следовательно

$$\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - 4T_0}{(\Delta x)^2} = 0. \quad (9)$$

Тогда релаксация температурного поля для каждой узловой точки релаксационной решетки должна соответствовать следующему соотношению:

$$\Delta P = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} - T_0 = 0. \quad (10)$$

На основе полученной математической модели двумерного температурного поля можно рекомендовать методику расчета температур в ограждениях с теплоизоляционными или теплопроводными включениями, а также для расчета сопряженных мест оконных блоков.

Последовательность расчета температурных полей в неоднородных ограждающих конструкциях с использованием метода релаксации следующая:

1. Конструкция разбивается сеткой на элементарные площадки, включая воздушные прослойки.
2. Задаются значения коэффициентов теплоотдачи: на внутренней поверхности $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [6], на наружной поверхности коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [7].
3. Основываясь на практическом опыте, приближенно задаются значениями температур в узлах решетки.

4. Принятые приближения проверяются от точки к точке в соответствии с требованием закона релаксации, после чего устанавливаются точки, в которых наблюдается наибольшее отклонение.

5. Начиная с мест наибольшего отклонения, вносятся исправления, удовлетворяющие закону релаксации.

6. Эти исправления в свою очередь вызывают отклонения в соседних точках, что вызывает необходимость в повторной коррекции температур.

7. Коррекция каждый раз вносится последовательно в порядке убывающих отклонений и продолжается до тех пор, пока численные значения по всей сетке не будут приведены во взаимное соответствие.

Список литературы

1. Бутенко А.Н. Моделирование тепловлажностных режимов в ограждающих конструкциях с повышенными теплозащитными свойствами. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук. Воронеж. 2010. -18с.
2. Иванов В.В. Моделирование процессов теплопереноса в многослойных ограждающих конструкциях / В.В. Иванов, Л.В. Карасева, С.А. Тихомиров // Третья российская конференция по теплообмену. Том 7. Теплопроводность и теплоизоляция. С. 56-60.
3. Моргун Л.В. Фибробетон для теплоизоляции / Л.В. Моргун, А.Ю. Богатина // Жилищное строительство 2003 №10. С. 17-20.
4. Низовцев М.И. Влияние толщины межэтажной прослойки на теплоизолирующие свойства./ М.И. Низовцев // Светопрозрачные конструкции. – 2001.- №4.С 23-28.
5. Самарский А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, Н.П. Вабищев // – М: Едиториал УРСС, 2003. – 784с.
6. СНиП 23-02-23 Тепловая защита зданий. – М.:ФГУП ЦПП, 2004.-31с.
8. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: ФГУП ЦПП,2004.- 186с.
9. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256с.
10. Хуторной А.Н. Оценка влияния глубины заложения и теплопроводности коннекторов на теплозащитные свойства кирпичных и керамзитобетонных наружных стен / А.Н. Хуторной, А.В. Колесникова // Известия вузов. Строительство, 2004. - № 10 - С. 4-8.

УДК 697.9

Федюнина Татьяна Андреевна,
студент группы ТГВ-51а
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБМЕРЗАНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ

Статья посвящена вопросам решения проблемы образования конденсата и обледенения пластинчатых рекуперативных теплоутилизаторов в системах вентиляции.

Ключевые слова: системы кондиционирования воздуха, пластинчатый рекуператор, эффективность рекуперации; конденсат

В настоящее время одним из основных потребителей энергии являются системы климатизации зданий, включая системы вентиляции. На нагрев приточного воздуха в холодный период затрачивается большое количество тепловой или электрической энергии. Одним из способов экономии энергии является утилизация теплоты удаляемого воздуха с применением теплоутилизаторов. Наибольшее распространение получили пластинчатые перекрестно-противоточные рекуператоры. В настоящее время эффективность данных рекуператоров достигает 90%. Эта эффективность достигается применением перекрестно-противоточной схемы, а также увеличением площади поверхности теплообмена. Последний фактор приводит к тому, что расстояние между пластинами становится минимальным.

Важной проблемой, возникающей при эксплуатации пластинчатых рекуператоров, является выпадение конденсата из потока вытяжного воздуха, и, как следствие, возможность обледенения каналов рекуператора. Это приводит к снижению энергетической и экономической эффективности рекуператора, повышению аэродинамического сопротивления и выходу из строя всей системы.

Способы решения проблемы обмерзания пластинчатых рекуперативных теплоутилизаторов можно разделить на две группы: решения, связанные с эксплуатацией рекуператоров в условиях обмерзания, а также решения, направленные на организацию процессов оттаивания.

Эксплуатация рекуператоров в условиях обмерзания

При производстве приточно-вытяжных установок, наиболее частым решением проблемы обмерзания является устройство обводного канала, позволяющего приточному воздуху двигаться в обход рекуператора. При снижении температуры воздуха в вытяжном канале ниже заданной, происходит срабатывание системы автоматики и открытие клапана обводного канала. Недостатком этой системы является то, что по температуре после рекуператора не всегда можно судить о начале процесса обмерзания [3]; при движении приточного воздуха по обводному каналу существует необходимость его нагрева, это приводит к снижению эффективности теплоутилизации.

Другой способ [1] недопущения замерзания конденсата, который заключается в следующем. При снижении температуры воздуха на выходе вытяжного канала теплообменника (с направлением движения удаляемого из помещений воздуха сверху вниз) до установленного предела (угрозе замерзания конденсата) включают нагрев воздуха на входе приточного канала. Недостатком этого метода является снижение энергетической эффективности теплообменника за счет дополнительных затрат на нагрев воздуха. В этом случае нагрев наружного воздуха осуществляется до температуры, при которой не происходит

обмерзания рекуператора. Однако, эта система является одной из надежных несмотря на значительное снижение эффективности рекуперации.

Остановка системы вентиляции для оттаивания

Известна установка для организации микроклимата в сельскохозяйственном помещении [4]. Принцип действия установки и формула изобретения подробно описаны в [4]. В случае обмерзания в приточно-вытяжной установке происходит остановка вытяжного вентилятора. В режиме обмерзания приточный воздух непосредственно из помещения подается, минуя рекуператор, что обеспечивает рециркуляцию, и, в тоже время, обогрев рекуператора. Способ имеет следующие недостатки: необходимость рециркуляции воздуха, что недопустимо при проектировании некоторых помещений; в режиме оттаивания теплый воздух не проходит непосредственно через каналы рекуператора; общая эффективность данного метода теплоутилизации составляет менее 40%, необходимо в данном случае использовать рекуператор с промежуточным теплоносителем.

В работе [2] представлена схема приточно-вытяжной установки, заслуживающей особого внимания. Поставленная задача в части способа размораживания и удаления сконденсированной влаги в рекуператоре представленным устройством решается тем, что при замерзании конденсата и образовании льда в каналах рекуператора при отрицательной наружной температуре воздуха обеспечивается контроль гидравлического сопротивления вытяжного канала рекуператора. При повышении гидравлического сопротивления до предельного порогового значения осуществляют перекрытие поступления наружного воздуха в приточный канал, отключают приточный вентилятор, и направляют воздух с выхода вытяжного канала рекуператора в приточный канал. При достижении установленного удовлетворительного значения гидравлического сопротивления включается приточный вентилятор, открывают клапан для поступления холодного воздуха в приточный канал и вытяжного воздуха наружу.

Предлагаемый в [2] способ организации эксплуатации установки в условиях обмерзания имеет следующие недостатки: в период оттаивания рекуператора подача наружного воздуха в обслуживаемые помещения прекращается; вопрос вентиляции помещений решается за счет рециркуляции, однако это недопустимо для некоторых помещений.

Также известен способ решения проблемы, в котором предполагается применение специального влагопоглощающего материала поверх пластин рекуператора. В процессе эксплуатации влага впитывается, что увеличивает время цикла эксплуатации.

В результате анализа способов решения проблемы обмерзания пластинчатых рекуператоров можно сделать вывод, что рассмотренные способы имеют следующие недостатки: некоторые способы предполагают значительное снижение эффективности в условиях возможного замерзания рекуператора; другие способы предлагают использовать рециркуляцию воздуха для оттаивания рекуператора.

Список литературы

1. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1986. -268с.
2. Данилевский Л.Н. Пат. 15736 ВУ, F28F 17/00. Устройство и способ предотвращения замерзания сконденсированной влаги в рекуперационном теплообменнике. / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский; заявитель и патентообладатель «республиканское унитарное предприятие «институт жилища НИПТИС им.Атаева С.С»»(ВУ). - №a20090456; заявл. 2009.11.25; опубл. 2012.03.30.
3. Разработка способа эксплуатации пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора в условиях обмерзания : диссертация кандидата технических наук. - Воронеж, 2016. - 154 с.

4. Шаталов М.П. Обоснование параметров теплоутилизационной установки на базе полимерного перекрестноточного пластинчатого теплообменника для животноводческих помещений: диссертация на соискание уч.ст.канд.тех.наук. / М.П. Шаталов. – М., 2010. – 165 с.

УДК 691.555

Дудник Анна Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
«Строительная инженерия и экономика»;
Цыган Сабина Игоревна,
студентка гр.21 СиЭЗиС
БПФ ГОУ «ПГУ им. Т.Г. Шевченко»

ТЕПЛЫЕ ШТУКАТУРКИ КАК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ РЕШЕНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

В данной статье выполнен анализ существующих технологий утепления фасадов зданий, рассмотрены основные достоинства теплых штукатурок производства российских фирм «Победит» и «Мишка», проведены теплотехнические расчеты утепления стен здания офисного центра и подбор толщины стен. Изучив достоинства и технические характеристики теплых штукатурок, принято, что целесообразно применение данных материалов для утепления каменных стен гражданских зданий в сравнении с традиционными штукатурными составами.

Ключевые слова: теплая штукатурка, ограждающая конструкция, достоинства, расчет, требования

На сегодняшний день очень популярны энергосберегающие материалы и технологии. Стремительно повышаются требования к отделке зданий. В наше время ассортимент новых разнообразных отделочных и облицовочных материалов настолько велик, что при выборе отделочного материала необходимо хорошо подумать, затратить много времени для изучения предлагаемой продукции, взвесить ее плюсы и минусы, сравнить с другими аналогичными материалами и только после этого отдать предпочтение лучшему из лучших по большинству показателей. Выбор материала для утепления стен и его толщина определяется теплотехническим расчетом, в соответствии со строительными нормами [1, 2].

За последнее десятилетие для утепления стен гражданских зданий все чаще стали применяться теплоизоляционные штукатурки разных производителей, так называемые «теплые штукатурки». Технология производства работ утепления фасадов зданий материалами типа пенополистерола или минераловатных плит включает большое количество операций, которые вовсе не так просты, также могут включать в себя дополнительные статьи расхода при утеплении методом скрепленной теплоизоляции. Считаем, хорошим выходом из ситуации осуществление утепления при помощи специальной штукатурки для утепления стен. Технология нанесения «теплой штукатурки» существенно не отличается от обычной штукатурки. Простота нанесения материала и минимум технологических процессов определяют бюджетную стоимость работ, высокое качество покрытия и гармоничное совмещение с любыми отделочными и облицовочными материалами.

Производителей теплых штукатурок немало. Рассмотрим российских производителей данного материала, фирма «Победит» и фирма «Мишка». Материалы, выпускаемые данными производителями, соответствуют всем российским стандартам. Соответствие выпускаемых штукатурок высоким экологическим стандартам позволяет применять материалы в гражданских зданиях и производить утепление стен как снаружи, так и внутри помещений. Высокая адгезия к любому виду стеновых материалов и ограждающих конструкций обеспечивает монолитное утепляющее покрытие стен любого дома без потерь тепла при полном отсутствии щелей и стыков, а высокая пластичность штукатурок позволяет проводить даже реставрационные работы.

Перечислим основные достоинства теплых штукатурок производства «Победит»:

- большая скорость работы - один штукатур за день может нанести от 120 м² до 180 м² штукатурного покрытия;
- высокая тиксотропность и пластичность;
- штукатурки для утепления стен можно наносить без арматурной сетки, за исключением проблемных мест;
- нанесение штукатурных утепляющих штукатурок исключает необходимость предварительного выравнивания стен;
- штукатурки обладают отличной адгезией и легко наносятся на любые стеновые материалы;
- в штукатурном слое отсутствуют дополнительные мостики холода, т.к. нет металлических связей;
- штукатурный слой представляет собой монолитное покрытие, в котором нет внутренних полостей, разрывов или щелей со стыками;
- высокие тепло- и звукоизолирующие свойства;
- трещиностойкая;
- морозостойкая;
- экологически чистая.

Состав фасадной теплоизоляционной штукатурной смеси Победит ТМ-30 Perlit: многокомпонентная сухая смесь портландцемента М-500, фракционированных перлитового и воздухововлекающей добавки. Обладает высокими техническими характеристиками, важной из которых является коэффициент теплопроводности $\lambda: 0,16 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ [3].

Перечислим основные достоинства теплых штукатурок «Мишка»:

- не имеет «мостиков холода»;
- повышает сопротивление теплопередаче;
- позволяет аккумулировать тепло в более массивной несущей стене;
- не допускает температурных деформаций несущей стены;
- препятствует коррозии бетона и стальной арматуры;
- препятствует появлению высолов;
- создает комфортные условия для проживания;
- обеспечивает дополнительную звукоизоляцию;
- дает возможность проводить работы по утеплению без выселения жильцов;
- дает возможность обновления фасадов с использованием новых архитектурных и цветовых решений;
- полная экологическая чистота.

Состав фасадной теплоизоляционной штукатурки «Мишка»: в основе утеплителя применен гранулированный вспученный кремневый шарик, который имеет самый высокий показатель конструктивной прочности, низкий уровень водопоглощения, пожаробезопасен, эффективен как теплоизолятор. Обладает высокими техническими характеристиками, важной из которых является коэффициент теплопроводности $\lambda: 0,065 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ [4].

Вышеперечисленные достоинства, технические характеристики и являются причиной применения данных материалов для утепления каменных стен гражданских зданий в сравнении с традиционными штукатурными составами. Были проведены теплотехнические расчеты утепления стен здания офисного центра и подбор толщины стен. Первый расчет, с применением обычных цементно-песчаных штукатурных составов для внутренней и наружной отделки стены. Второй расчет, с применением гипсовой штукатурки для внутренней отделки, а для наружной отделки - теплая штукатурка «Победит». Третий расчет, с применением гипсовой штукатурки для внутренней отделки, а для наружной отделки – теплая штукатурка «Мишка».

При первом расчете не удовлетворилось требование проектной толщины стены здания офисного центра, с данными материалами необходимо было бы применить более массивную

стену в 1,5 котельца, что приводит к утяжелению конструкции и передаче большей нагрузки на грунт основания, что не желательно при строительстве объектов в сейсмических районах.

В результате произвели подбор других отделочных материалов, которые бы не приводили к утолщению стен и обеспечивали все требования для нормального температурно-влажностного режима помещения и отвечали санитарно-гигиеническим и теплофизическим требованиям. При втором расчете толщина стены составила 0,358 м при наружном слое штукатурки «Победит» в 0,02 м. При третьем расчете расчетная толщина стены составила 0,314 м при наружном слое штукатурки «Мишка» в 0,02 м. Выбран в проекте штукатурный состав «Победит».

Вывод: в нашем регионе каменные стены гражданских зданий целесообразно оштукатуривать современными теплоизоляционными штукатурными составами, без применения скрепленной изоляции, что позволяет применять менее массивные стены без ухудшения температурно-влажностного режима помещений, а также это позволит произвести экономию средств и времени при строительстве зданий. Теплая штукатурка служит не только отделочным материалом, но еще и прекрасным утеплителем, в помещениях и комнатах сохраняется почти все тепло.

Список литературы

1. СНиП ПМР 23-01-02 «Строительная климатология и геофизика».
2. СНиП ПМР 23-03-2011 «Тепловая защита зданий».
3. Теплая штукатурка Победит перлит ТМ-30.[Электронный ресурс] URL: http://www.pobedit-msk.ru/shop/UID_23.html
4. Теплая штукатурка мишка. [Электронный ресурс] URL: <http://shpatlevko.ru/page/teplaja-shtukaturka-mishka>

УДК 697.94

Замета Илья Сергеевич,
студент группы ТГВмб-49
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ БОЛЬШОГО ОБЪЁМА

Статья посвящена организации воздухообмена в помещениях большого объема с применением тканевых перфорированных воздуховодов, обозначены достоинства и недостатки при применении перфорированных воздуховодов.

Ключевые слова: эжекция, воздухораспределение, тканевые перфорированные воздуховоды

Помещения с большим объёмом как производственных, так и общественных зданий, требуют колоссальных затрат энергии для обеспечения отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Для воздухораспределения в таких помещениях одним из допустимых вариантов является применение текстильных перфорированных воздуховодов, с высокими эжекционными свойствами. При правильном проектировании такая система имеет ряд преимуществ по уровню создаваемого комфорта, размерам эксплуатационных и капитальных затрат. Системы воздухораспределения в больших помещениях делятся на два типа – канальные и бесканальные. В бесканальных системах воздух поступает в помещение компактными сосредоточенными струями. Количество воздухораспределительных патрубков зависит от размеров помещения, условно разбиваемого на зоны. Каждая зона может обслуживаться отдельным приточным модулем.

В технически более совершенных канальных системах, применяемых для ОВК, обслуживаемое помещение покрывается сетью воздуховодов, в основном из листовой стали, с определенным количеством воздухораспределителей, через которые подготовленный воздух подается в помещение. В этом случае число распределительных точек больше, применяемые типы диффузоров имеют более высокий коэффициент эжекции, выше температурная однородность воздуха по горизонтали. Сеть воздуховодов систем ОВК служит для подачи воздуха и обеспечения тепломассообмена в обслуживаемом помещении в целях поддержания требуемых параметров [1]. При этом температура воздуха, подаваемого в помещение, кардинально отличается от температуры, необходимой для комфортных условий. В этой связи, приоритетной становится задача обеспечения равномерного распределения воздуха с целью предотвращения создания физиологического дискомфорта для людей, а также зон с различной температурой, где тепловая стратификация ведет к недопустимым потерям энергоресурсов. При грамотном проектировании канальные системы дают очень хорошие результаты. Однако, есть ряд функциональных технических ограничений, которые в определенных условиях могут привести к эксплуатационным недостаткам и стать причиной физиологического дискомфорта и потерь энергоресурсов. Обычно, такие системы могут иметь и слабые стороны:

- на воздуховодах требуется предусмотреть дополнительные затраты на теплоизоляцию воздушных каналов с покрытием материалом, защищающим от конденсата. Необходимо увеличение числа точек распределения воздуха с соответствующим снижением объемного расхода каждой и улучшение их качества для повышения эффекта эжекции воздухораспределительной системы.

• во всех случаях требуется разработать воздухоотводящую сеть воздуховодов по всему помещению, для того чтобы избежать образования застойных зон. Системы воздухораспределения на основе эжекционных перфорированных воздуховодов были предложены, как способ преодолеть технические ограничения традиционных систем, обеспечить высокий уровень физиологического комфорта и как можно ближе приблизиться к идеальным микроклиматическим условиям. В основе этой системы лежат свойства изотермических и неизотермических воздушных потоков в свободном поле. Воздушный поток в свободном поле меняет свое поведение в зависимости от геометрии и конфигурации выходного отверстия, а также скорости, что создает разные по степени выраженности «впрыск» и эжекцию [2]. С учетом данного принципа калибруются выходные отверстия в круглом канале из воздухонепроницаемой ткани. Полученные таким образом отверстия-форсунки, рассчитываемые отдельно для каждого конкретного проекта специальным программным обеспечением, позволяют получить оптимальный компромисс между «впрыском» и эжекцией

Впервые эти системы появились в рамках научных исследований, проходивших в начале 1980-х годов с целью разработки системы воздухораспределения. Среди множества различных решений предпочтение было отдано перфорированному воздуховоду, который обеспечивал равномерное воздухораспределение и герметичность воздушного канала. После более подробно был изучен вопрос эжекции и распределения воздуха с эффектом воздушного поршня, и системы получили дальнейшую модернизацию. Понятие «воздушный поршень» было использовано по той причине, что в круглом перфорированном канале постоянного сечения наклон воздушной струи, поступающей в помещение, определяется вектором скорости воздушного потока в канале и скорости воздуха на выходе из отверстия в стенке. С увеличением расстояния от начальной точки воздуховода до конечной скорость воздушного потока в нем падает, и при практически постоянной скорости воздуха на выходе из отверстий наклон воздушной струи, поступающей в помещение, уменьшается. В гипотетической точке, где скорость внутри канала падает до нуля, угол выхода стремится к перпендикуляру относительно воздуховода [4]. В действительности этого никогда не происходит, так как, даже на удаленном участке воздуховода скорость воздушного потока имеет положительное значение. Кроме того, непрерывное «проталкивание» воздуха вперед по каналу («поршневой эффект»), когда наклон поступающей в помещение воздушной струи постепенно уменьшается, поддерживает возвратную циркуляцию общего воздушного потока в направлении воздуховыпускных отверстий. Производители перфорированных воздуховодов разработали различные прикладные технологии и практические решения, специальные программы для расчета конфигурации отверстий в каналах, предлагая индивидуальные проектные решения, необходимые для использования на сетях ОВК, непрерывно совершенствуя свою продукцию и экспериментируя с материалами. Системы воздухораспределения посредством эжекционных перфорированных текстильных воздуховодов с момента появления на рынке и по сей день являются объектом пристального изучения и непрерывного совершенствования [3]. Сегодня такие системы можно успешно использовать в зданиях практически любого типа. Изучение особенностей кондиционирования воздуха и отопления подвело специалистов к предположению о необходимости использования данных систем в различных условиях (смена времен года, изменение тепловой нагрузки и т. п.) с регулируемой температурой или регулируемым объемным расходом. Для обеспечения функциональности системы, проведя огромную научную и исследовательскую работу, сегодня фирмы-производители имеют в своем активе очень широкий спектр конфигураций отверстий, защищенных патентами, оптимизированных под различные виды тканей, в том числе, в зависимости от поведения ткани при перепадах давления и колебаниях рабочей температуры.

Основные достоинства перфорированных воздуховодов:

- полное регулирование воздушного потока. Воздушные потоки можно перемещать в нужном направлении, обеспечивая их абсолютную однородность, которую маловероятно получить иными способами. Однородный поток легко преодолевает препятствия на своем пути - движущаяся воздушная масса послушно обтекает преграды. Наиболее ценно это качество для производственных помещений, где во множестве имеются различного рода подвижные конструкции, равно как и для помещений, организованных по принципу «открытого пространства». Если они обслуживаются традиционными системами, то перестановка относительно схемы первоначального размещения элементов оборудования может привести к серьезным нарушениям распределения воздуха с перекрытием или отклонением воздушных потоков на выходе из подающих патрубков, что потребует дополнительных затрат на модификацию и адаптацию распределительной сети к новой схеме размещения оборудования.

- однородность температуры. Воздух в помещении полностью вовлекается в перемешивание и в течение считанных минут выравнивается по температуре как горизонтально, так и вертикально.

- отсутствие сквозных воздушных течений. Правильный расчет размеров и расположения выходных отверстий позволяет получить воздушную струю оптимальной скорости и дальности на такое расстояние, что при приближении к уровню профиля человека скорость воздуха снижается ровно настолько, чтобы обеспечить полный физиологический комфорт. Пример использования тканевых воздухопроводов в промышленных помещениях. • Меньшее число воздухопроводов. По сравнению с традиционными канальными системами при прочих равных условиях данная система требует меньшее число воздухопроводов - широта охвата перфорированного воздуховода без потери функциональной эффективности достигает 20 метров при дальности воздушной струи до 10 метров вправо и влево от канала независимо от общей длины и высоты прокладки сети [4].

- отсутствие ограничений по протяженности и форме. Воздуховоды производятся на заказ для каждого конкретного проекта по предварительно выполненным замерам и расчетам строго требуемой длины и необходимой конфигурации (круглая, полукруглая, четверть круга и т. д.) в комплекте со всей необходимой фурнитурой (соединительные колена, т-образные муфты, редукторы), крепежом под кронштейны с учетом схемы установки.

- отсутствие воздухоотводящей сети воздухопроводов. Еще одна весьма привлекательная особенность данных воздухораспределительных систем заключается в том, что они не требуют прокладки разветвленной сети воздухоотводящих каналов. Непрерывное движение воздушной массы в помещении вдоль по оси и вокруг воздуховода обеспечивает абсолютное перемешивание воздуха и полностью предотвращает образование застойных зон. Качество воздуха будет одинаковым в любой точке помещения, как по вертикали, так и по горизонтали. В силу этого достаточно предусмотреть на верхнем уровне одну централизованную шахту для удаления из помещения отработанного воздуха.

- возможность регулирования объемного расхода воздуха. Использование данных распределительных систем дает возможность регулировать температуру и объемный расход воздуха за счет одних лишь сетевых параметров давления без всякой запорно-регулирующей арматуры с электрическим либо ручным приводом, что позволяет существенно экономить расходы и затраты на пусконаладочные и регулировочные работы и последующее техническое обслуживание.

- высокий уровень противопожарной безопасности. В отношении противопожарной безопасности следует подчеркнуть, что материалы, применяемые для производства перфорированных воздухопроводов, являются огнестойкими, сертифицированными по классам защиты, либо негорючими для всех объектов, где требуется использование негорючих воздухопроводов (развлекательных и театрально-концертных комплексов), а также на сетях, обслуживаемых теплогенераторами горячего воздуха при прямом сгорании топлива.

- увеличенный срок службы. Перфорированные воздуховоды производят, как правило, из материалов, рассчитанных по своим характеристикам, как на конкретную распределительную сеть, так и на микроклиматические условия, в которых они будут эксплуатироваться. Материал подбирается специально под конкретный проект и рассчитана то, чтобы в заданных условиях обеспечивалась устойчивость к воздействию внешних факторов. При необходимости материал проходит предварительную защитную и гигиеническую обработку. Заказчику могут быть предложены материалы с сертифицированной антибактериальной и антиаллергенной обработкой, предотвращающей размножение микроорганизмов, грибка и плесени. Воздуховоды легко очищать от накапливающихся в них осадков. Как правило, при правильном монтаже и корректной эксплуатации средний срок службы таких воздуховодов от первоклассных поставщиков составляет 10-15 лет.

- функциональная гибкость. В силу использования специальных технических тканей вес перфорированных тканевых воздуховодов весьма незначительный и даже на сетях большого диаметра редко когда превышает 1-4 кг на погонный метр. Небольшой вес позволяет монтировать такие сети даже в зданиях старой постройки, имеющих не высокую несущую способность, либо в сверхлегких конструкциях, где они обеспечивают весьма эффективную систему распределения воздуха. Чрезвычайно интересным представляется не получивший пока должного распространения метод повышения, с их помощью тепловой производительности имеющихся старых отопительно-вентиляционных систем. Дополнительной установкой обычных вентиляторов и сети перфорированных воздуховодов температурная стратификация легко снижается до приемлемого уровня, одновременно значительно снижаются и затраты на отопление помещения. Текстильные воздуховоды легко складываются и транспортируются.

- экономия энергоресурсов. Использование систем на основе перфорированных воздуховодов дает значительную экономию энергоресурсов, позволяя снизить эксплуатационные расходы и в режиме отопления, и в режиме кондиционирования воздуха за счет следующих характеристик:

- минимизация тепловой стратификации по высоте помещения;
- сокращение времени выхода сети на расчетный тепловой режим при включении;
- возможность при помощи определенных настроек обеспечить зональное распределение воздуха или распределение, близкое к многоуровневому, не затрагивая остальные участки помещения, с соответствующим снижением установленной тепловой мощности;
- сокращение объемного расхода воздуха по сравнению с традиционными системами при равной тепловой мощности. Основной характеристикой перфорированного воздуховода является коэффициент живого сечения, т.е. отношение площади отверстий ко всей площади поверхности, на которой они размещены.

Список литературы

1. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Арина, 2000. – 416 с.
2. Robert Howard Вентиляция предприятий сферы обслуживания АВОК.-2001.-№4, С. 66-72.
3. R. Catiglioni Тканевые воздуховоды АВОК.-2004.-№3, С.66-72.
4. Рымаров А.Г. Исследование возможности применения текстильных воздуховодов в системах вентиляции / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Естественные и технические науки. 2015. №2. С. 141–143.

УДК 621.43.068.1

Лукьянов Александр Васильевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Пенкина Юлия Сергеевна,
магистрант кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В СИСТЕМАХ ТГУ

Рассматривается энергоэффективность децентрализованных энергоустановок, в которых используется процесс когенерации с применением двигателей внутреннего сгорания. Кратко описывается процесс преобразования тепловой энергии и работы установки. Большое внимание уделяется рассмотрению энергоэффективного показателя и сравнению коэффициента использования теплоты топлива для различных схем когенерационных энергоустановок. Затронутая проблема представляет интерес для обеспечения непрерывной подачи тепловой энергии.

Ключевые слова: когенерационная энергоустановка, двигатели внутреннего сгорания, коэффициент использования теплоты топлива, выхлопные газы, комбинированная установка, энергоэффективность, расход топлива.

В настоящее время в мировой энергетике накоплен большой опыт эксплуатации автономных источников электрической энергии и тепла, которые обеспечивают прочную технологическую связь между производством данных видов энергии.

Говоря об автономном энергоснабжении, следует отметить возможность получения не только электрической энергии, но и тепла. Традиционный способ получения электроэнергии и тепла заключается в их раздельной генерации (электростанция и котельная). При этом значительная часть первичного топлива не используется. В связи с этим целесообразно применение когенерационных энергоустановок [1]. Использование энергии когенерационных процессов в теплогенерирующих установках (ТГУ) является одним из перспективных направлений эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу.

Когенерационный процесс представляет собой совместную выработку тепловой и электрической энергии. Существуют различные варианты схем реализации когенерации, удовлетворяющие потребностям технологического процесса. К таким схемам относятся когенерационные установки с паровым котлом – утилизатором, водоподогревательной установкой, на базе газопоршневых двигателей и двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Преимуществом когенерационных установок является снижение затрат на транспортировку энергии, поскольку энергоустановка позволяет размещение в непосредственной близости от потребителя, а также позволяет использование первичных и вторичных энергоресурсов (ВЭР), делая установку экономически выгодной, повышая общий коэффициент полезного действия (КПД) ТГУ с ДВС.

В данной работе рассматривается выработка двух видов энергии при комбинировании когенерационных установок на базе двигателей внутреннего сгорания. Когенерационный процесс осуществляется путем применения электрогенераторной установки с использованием ДВС и системой утилизации вырабатываемого двигателем тепла. Данные энергоустановки также имеют название комбинированных энергоустановок.

Комбинированные энергоустановки имеют основные узлы, такие как двигатель внутреннего сгорания, электрогенератор, система утилизации тепла, система управления. Данные узлы обеспечивают весь процесс когенерации. В ДВС энергия углеводородного топлива преобразуется в тепловую энергию в результате его сжигания. В дальнейшем при сжигании топлива происходит расширение газов, которые и приводят в движение поршни двигателя, то есть происходит процесс преобразования химической энергии топлива в механическую работу[3]. ДВС имеют низкий коэффициент полезного действия и высокий показатель расхода топлива. При помощи электрогенераторной установки, механическая энергия преобразуется в электрическую энергию и поступает на распределительную установку.

Система утилизации тепла (СУТ) представляет собой комплекс тепломеханического оборудования, который работает непосредственно от выхлопных газов ДВС, преобразуя в дальнейшем выхлопные газы в тепловую энергию, поступающую на теплогенерирующую установку (ТГУ). Таким образом главной задачей СУТ является экономия затрат тепловой выработки, а также данная установка осуществляет роль энергосберегающей установки. КПД по отношению к энергии топлива при использовании ДВС для производства электроэнергии находится в диапазоне 40 - 50%. Применение процессов когенерации с эффективной утилизацией тепла выхлопных газов ДВС в системах ТГУ повышает энергоэффективность данных установок и КПД может достигать 85 - 90%[2]. Следовательно, способом повышения энергоэффективности является повышение энергоэффективности ДВС как источника теплоты.

Рассмотрим схемы децентрализованного энергоснабжения с параллельной (выработка электрической и тепловой энергии осуществляется отдельно) и комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии. Цель – сравнение эффективности использования когенерационной энергоустановки и сопоставить с параллельной схемой для тепловой выработки энергии в системе ТГУ.

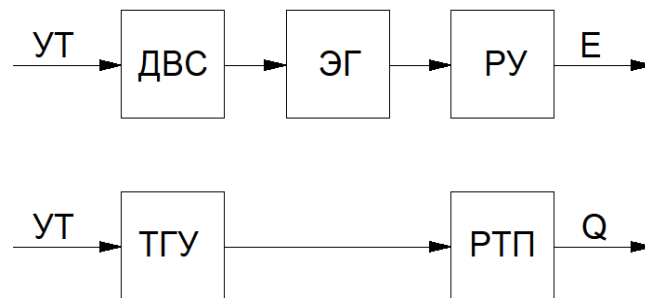


Рисунок 1 - Схема параллельной энергоустановки (Схема 1)

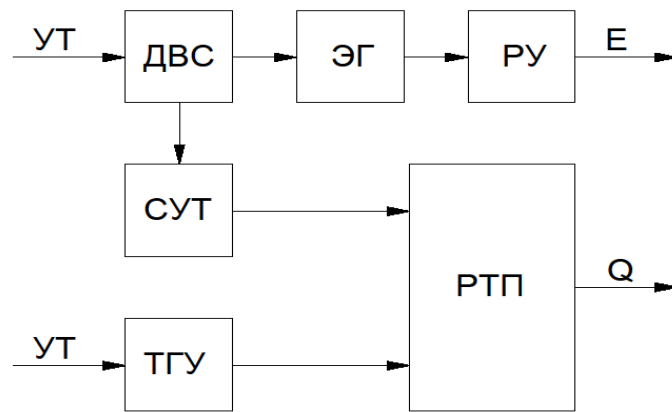


Рисунок 2 - Схема комбинированной энергоустановки (Схема 2)

ДВС – двигатель внутреннего сгорания; РУ – распределительная установка;

ТГУ – теплогенерирующая установка; ЭГ – электрогенератор, СУТ – система утилизации теплоты ДВС; РТП – распределительный тепловой пункт; УТ – углеводородное топливо; Е – электрическая энергия; Q – тепловая энергия.

Энергетическую эффективность данных систем принято оценивать коэффициентом использования теплоты топлива η , указывающего отношение выработанной энергии к затраченному количеству теплоты топлива. Коэффициент определяется из выражения

$$\eta = \frac{Q + E}{B \cdot Q_H^P \cdot T}, \quad (1)$$

где Q – количество выработанной теплоты, [кДж];

E – количество выработанной электроэнергии по тепловому эквиваленту, [кДж];

1 кВт·ч = 3600 кДж;

B – расход топлива, [м³/ч];

T – время работы, [ч];

Q_H^P – низшая удельная теплота сгорания топлива, [кДж/м³];

Согласно исходному уравнению (1), рассмотрим коэффициенты использования тепла топлива для параллельной и комбинированной схем.

$$\eta_1 = \frac{E + Q}{B_1 \cdot T \cdot Q_1 + B_2 \cdot T \cdot Q_2}, \quad (2)$$

$$\eta_2 = \frac{E + Q}{B_1 \cdot T \cdot Q_1 + T \cdot B_3 \cdot Q_2}, \quad (3)$$

где B_1 – расход топлива ДВС для параллельной схемы, [м³/ч];

Q_1 – низшая удельная теплота сгорания топлива ДВС для параллельной схемы, [кДж/м³];

B_2 – расход топлива ТГУ для параллельной схемы, [м³/ч];

Q_2 – низшая удельная теплота сгорания топлива ТГУ для параллельной схемы, [кДж/м³];

B_3 – расход топлива ТГУ для комбинированной установки, [м³/ч];

Из уравнений (2,3) после подстановки численных данных конкретного потребителя: $B_1=3160$ кг/ч.; $B_2=3306$ кг/ч.; $B_3=1351$ кг/ч.; $Q=79,075 \cdot 10^6$ кДж/ч.; $Q_1=28470$ кДж/кг.; $Q_2=28470$ кДж/кг.; $E=8000$ кВт·ч= $8000 \cdot 3600=288 \cdot 10^5$ кДж; $\eta_1=0,586$; $\eta_2=0,84$ [4, с.250-252] можно сделать вывод, что коэффициент использования теплоты топлива для комбинированной энергоустановки $\eta_2=0,84$ выше, чем при использовании параллельной схемы децентрализованного энергоснабжения $\eta_1=0,586$. То есть количество выработанной энергии при одинаковом количестве затрачиваемого углеводородного топлива, значительно выше.

Происходит минимизация расхода топлива и повышение количества тепловой энергии. В связи с этим можно сделать вывод, что когенерационные установки на базе утилизации отводимой теплоты ДВС значительно эффективнее по количеству вырабатываемой энергии.

Список литературы

1. Быстрицкий Г.Ф., Бородич Е.А. Автономные и когенерационные установки энергоснабжения/ Г.Ф. Быстрицкий. – М.: НТФ «Энергопресс», 2014. – 112с.
2. Киприянов М.Е., Низямова Э.Н., Решетникова В.С. Использование когенерационных установок // «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»: Электронный сборник статей по материалам LVIII студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2017. – № 10 (57) – С. 108-111./ [Электронный ресурс] – Режим доступа. URL:[http://www.sibac.info/archive/Technic/10\(57\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/10(57).pdf).
3. Медовщиков Ю.В. Основы тепловых двигателей внутреннего сгорания/Ю.В. Медовщиков. – Москва: РУСАЙНС, 2018. – 106с.
4. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике/О.М. Рабинович. - М.: Машиностроение, 1973 - 344 с.

УДК 621.311

Цюпка Алексей Алексеевич,
Капленко Руслан Александрович,
магистранты гр. ЗТГВмб-49,
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Монах Светлана Игоревна,
к.т.н., доцент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В данной статье исследована термодинамическая эффективность теплофикационных систем – традиционных и комбинированных с применением теплового насоса и ветроэнергетической установки. Термодинамический анализ эффективности комбинированной теплофикационной системы проведен эксергетическим методом.

Ключевые слова: теплофикационная система; паровая турбина; регулируемый отбор пара; тепловой насос; ветроэнергетическая установка; эксергия потока теплоты; эксергетический баланс; эксергетический КПД

Известно, что действительный термический КПД конденсационной паротурбинной установки не превышает 35%. Также известно, что если повысить давление отработавшего пара до 0,1 – 0,2 МПа, то пар можно использовать для коммунально-бытовых нужд, а если повысить давление пара после турбины до 0,15 – 1 МПа – то для производственных нужд промышленных предприятий. Такое комбинированное получение электроэнергии и теплоты наз. теплофикацией, а сами электростанции наз. теплоэлектроцентралями (ТЭЦ), или теплоэлектростанциями (ТЭС). Общий коэффициент использования теплоты топлива на ТЭЦ достигает 80%.

Одной из самых перспективных энергосберегающих технологий на современном этапе является теплонасосная технология, использующая возобновляемые источники энергии (ВИЭ) или вторичные энергоресурсы (ВЭР). В настоящее время известны различные комбинированные системы теплоснабжения с традиционными источниками энергии и ВИЭ.

В данной работе исследуется комбинированная теплофикационная система (КТС) с тепловым насосом и ветроэнергетической установкой.

В современных теплофикационных системах, связанных с превращениями вещества и энергии, важное место занимают объекты, создание и усовершенствование которых требуют термодинамического анализа.

Классический аппарат термодинамики часто оказывается недостаточным для решения задач повышения эффективности теплотехнического оборудования, поэтому необходимо не только его дальнейшее развитие, но и сопряжение с элементами системного подхода и экономики. Под влиянием этих требований для термодинамического анализа современных систем все чаще используется эксергетический метод.

Цель эксергетического анализа системы КТС состоит в том, чтобы получить полное представление о технической системе с точки зрения анализа энергетических превращений, происходящих в ней [2]. Полученная при этом информация (распределение и характеристика потерь, значения КПД отдельных частей и системы в целом, относительный вес каждой части, характеристика связей между ними, взаимодействие системы со средой и т.д.) служит основой для дальнейшей работы по усовершенствованию системы. Другая не менее важная цель эксергетического анализа системы заключается в оптимизации тех или иных параметров для

того, чтобы получить как можно большую термодинамическую эффективность системы, т. е. максимальный эксергетический КПД [2].

В качестве объекта исследования выбрана тепловая схема наиболее распространенного на действующих теплоэлектроцентралях турбогенератора - ПТ-60-2. Данная турбина имеет два регулируемых отбора: производственный с параметрами пара $P=0,8-1,6$ МПа и $T=280$ °С, и теплофикационный с параметрами пара $P=0,02-0,15$ МПа и $T=140$ °С. На рисунке 1 представлена принципиальная схема оборудования теплоэлектроцентрали.

Оценка эксергетической эффективности теплофикационной системы проводится в следующем порядке.

Количество теплоты, подведенное к 1 кг пара в парогенераторе

$$q_1 = i_a - i_n, \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

где i_a - энтальпия пара на выходе из парогенератора, кДж/кг;

i_n - энтальпия питательной воды на входе в парогенератор, кДж/кг.

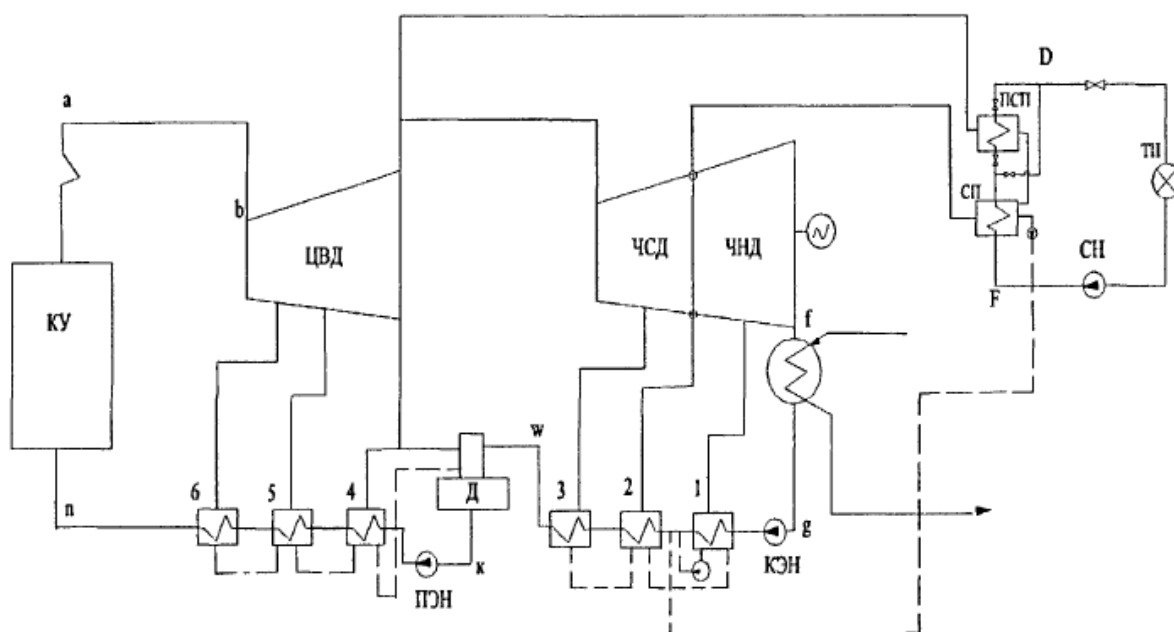


Рисунок 1 - Принципиальная схема оборудования ТЭЦ

КУ - парогенератор; ПСП - пиковый сетевой подогреватель;

СП - сетевой подогреватель; ТП - тепловой потребитель;

ПЭН - питательный электрический насос; КЭН - конденсатный электрический насос;

ЦВД - цилиндр высокого давления; ЧСД и ЧНД - соответственно части среднего и низкого давлений; СН - сетевой насос; Д - деаэратор

Испарительная способность 1 кг условного топлива [1]

$$И = Q_n^p \cdot \eta_{ПГ} / q_1, \text{ кг/кг}, \quad (2)$$

где Q_n^p - теплотворная способность топлива, кДж/кг;

$\eta_{ПГ}$ - КПД парогенератора.

Следовательно, количество теплоты, перешедшее от 1 кг топлива к пару, будет составлять

$$Q_1 = Q_n^p \cdot \eta_{ПГ}, \text{ кДж/кг}. \quad (3)$$

Расход условного топлива определится как [3]

$$B = [D_o \cdot (i_a - i_n) + D_{пр} \cdot (i_{kun} - i_n)] / Q_n^p \cdot \eta_{ПГ}, \quad (4)$$

где D_o - расход пара на турбину, кг/с;

$D_{пр}$ - расход пара на периодическую продувку парогенератора, кг/с;

Увеличение эксергии в парогенераторе вследствие сжигания топлива (участок n-a на рисунке 1) [2]

$$e_a - e_n = I \cdot [(i_a - i_n) - T_0 \cdot (S_a - S_n)], \text{ кДж/кг}, \quad (5)$$

где S_a - энтропия пара на выходе из парогенератора, кДж/кг·К;

S_n - энтропия воды на входе в парогенератор, кДж/кг·К.

Потери эксергии в паропроводе от парогенератора до паровой турбины (участок a - b на рисунке 1)

$$e_b - e_a = I \cdot [(i_b - i_a) - T_0 \cdot (S_b - S_a)], \text{ кДж/кг}. \quad (6)$$

Потери эксергии в паровой турбине с учетом регенеративных отборов пара (участок b-f на рисунке 1)

$$e_6 - e_b = I \cdot [(i_6 - i_b) - T_0 \cdot (S_6 - S_b)], \text{ кДж/кг}, \quad (7)$$

$$e_5 - e_6 = I \cdot (1 - a_6) [(i_5 - i_6) - T_0 \cdot (S_5 - S_6)], \text{ кДж/кг}, \quad (8)$$

где a_i - i -тый отбор пара в систему регенерации.

$$e_4 - e_5 = I \cdot (1 - \sum_5^6 a_i) \cdot [i_4 - i_5 - T_0 \cdot (S_4 - S_5)], \text{ кДж/кг}; \quad (9)$$

$$e_3 - e_4 = I \cdot (1 - \sum_4^6 a_i) \cdot [i_3 - i_4 - T_0 \cdot (S_3 - S_4)], \text{ кДж/кг}; \quad (10)$$

$$e_2 - e_3 = I \cdot (1 - \sum_3^6 a_i) \cdot [i_2 - i_3 - T_0 \cdot (S_2 - S_3)], \text{ кДж/кг}; \quad (11)$$

$$e_1 - e_2 = I \cdot (1 - \sum_2^6 a_i) \cdot [i_1 - i_2 - T_0 \cdot (S_1 - S_2)], \text{ кДж/кг}; \quad (12)$$

$$e_f - e_1 = I \cdot (1 - \sum_1^6 a_i) \cdot [i_f - i_1 - T_0 \cdot (S_f - S_1)], \text{ кДж/кг}. \quad (13)$$

Потери эксергии в конденсаторе паровой турбины (участок f - g на рис. 1)

$$e_g - e_f = I \cdot (1 - \sum_1^6 a_i) \cdot [i_g - i_f - T_0 \cdot (S_g - S_f)], \text{ кДж/кг}. \quad (14)$$

Увеличение эксергии в системе регенерации вследствие подвода пара из отбора турбины (участки g-w w-k к-п на рис. 1)

$$e_w - e_g = I \cdot [(1 - \sum_4^6 a_i) \cdot (i_w - T_0 \cdot S_w) - (1 - \sum_1^6 a_i) \cdot (i_g - T_0 \cdot S_g)], \text{ кДж/кг}; \quad (15)$$

$$e_k - e_w = I \cdot [(i_k - T_0 \cdot S_k) - (1 - \sum_4^6 a_i) \cdot (i_w - T_0 \cdot S_w)], \text{ кДж/кг}; \quad (16)$$

$$e_k - e_w = I \cdot [(i_n - i_n) - T_0 \cdot (S_n - S_k)], \text{ кДж/кг}. \quad (17)$$

Увеличение эксергии сетевой воды вследствие подвода пара из отбора турбины в количестве a_{om} сетевом подогревателе (участок F - D на рисунке 1)

$$E_D - E_F = Q_{от} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{cp}^D}\right), \text{ кДж}, \quad (18)$$

где $Q_{от}$ - теплота переданная сетевой воде паром из отборов турбины, кДж;

T_{cp}^D - температура сетевой воды на выходе из сетевого подогревателя, К;

T_0 - температура окружающей среды, К.

Эксергия подведенная тепловому потребителю составляет

$$E_D = E_F + Q_{от} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{cp}^D}\right), \text{ кДж}. \quad (19)$$

Эксергетический КПД теплоэлектроцентрали [2]:

$$\eta_e^{ТЭЦ} = \frac{(L + E_{от})}{E_{топл}}, \quad (20)$$

или

$$\eta_e^{ТЭЦ} = \frac{\left(L + Q_{от} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{cp}^D}\right)\right)}{Q_{топл} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{cp}^a}\right)}, \quad (21)$$

где L - совершенная работа турбины, кДж/кг;

$E_{от} = E_D$ - эксергия отпущенная потребителю, кДж;

$E_{топл}$ - эксергия подведенная к циклу вследствие сжигания топлива в парогенераторе, кДж;

T_{cp}^a - температура острого пара, К.

Внутренняя работа турбины определится по формуле

$$L_{it} = I \cdot [(i_6 - i_b) + (1 - a_6)(i_5 - i_6) + (1 - \sum_5^6 a_i)(i_4 - i_5) + (1 - \sum_4^6 a_i)(i_3 - i_4) + (1 - \sum_3^6 a_i)(i_2 - i_3) + (1 - \sum_2^6 a_i)(i_1 - i_2) + (1 - \sum_1^6 a_i)(i_f - i_1)], \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (22)$$

Для численных исследований принимается входящая в состав ТЭЦ теплофикационная турбина типа ПТ-60-2. Параметры пара в узловых точках турбины ПТ-60-2 при номинальной нагрузке приведены в таблице 1.

Расход пара на турбину в конденсационном режиме с включенной регенерацией составляет $D_{ок} = 83 \text{ кг/с}$ (300 т/ч).

При включенном теплофикационном отборе с тепловой нагрузкой $Q_{от}$ с учетом коэффициента недовыработки расход пара на турбину возрастет, и общая паровая нагрузка составит [4]

$$D_0 = D_{ок} / (1 - y \cdot a_{отб}), \text{ кг/с}, \quad (23)$$

$$y = (i_{от} - i_k) / (i_0 - i_k),$$

где y - коэффициент недовыработки; $i_{от}$, i_k , i_0 - соответственно энтальпия пара в теплофикационном отборе, в конденсаторе паровой турбины, острого пара, кДж/кг.

Таблица 1 – Параметры пара в узловых точках турбины ПТ-60-2 при номинальной нагрузке

	Параметры пара в узловых точках турбины ПТ-60-2 при номинальной нагрузке							
	Острый пар	1 отбор	2 отбор	3 Регул. отбор (производ.)	4 отбор	5 Регул. отбор (теплофик.)	6 отбор	Насыщ. Пар в конденсат.
Температура t , °C	540	370	310	280	180	140	80	40
Давление P , МПа	13	3,6	2,2	1,0	0,5	0,05	0,034	0,06
Энтальпия пара, i , кДж/кг	3450	3150	3050	2990	2815	2767	2620	2570
Энтропия пара, S , кДж/кг·К	6,61	6,77	6,81	7,56	7,14	7,98	8,2	8,31

Количество отбора пара $a_{отб}$ определится

$$a_{отб} = G_{с.в} (i_{вых} - i_{вх}) / (i_{от} - i_{нас}), \text{ кг/с}. \quad (24)$$

Для расчета расход сетевой воды принимается $G_{с.в} = 138 \text{ кг/с}$ (500 т/ч). Температуры прямой и обратной сетевой воды составляют $70^\circ\text{C} / 40^\circ\text{C}$,

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета эксергетического КПД теплоэлектроцентрали без включения в схему КТС

Сетевая вода	Паровая турбина	Парогенератор	Эксергетический КПД
$T_D=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_F=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $G_{с.в}=138\text{ кг/с}$ $Q_{ТП}=17,4\text{ МВт}$	$a_{отб}=7,15\text{ кг/с}$ $y_{отб}=0,223$ $D_0=84,6\text{ кг/с}$ $N_Э=50\text{ МВт}$ $Q_{отб}=17,4\text{ МВт}$	$B=7,8\text{ кг/с у.т.}$ $Q_{топ}=213\text{ МВт}$	$\eta_e^{ТЭЦ}=38,3\%$

На рисунке 2 представлена принципиальная схема оборудования теплоэлектроцентрали совместно с комбинированной теплоснабжающей системой, используемой для подогрева прямой сетевой воды. Эксергетический баланс и оценка эффективности теплофикационной системы с КТС проведена по приведенной выше методике с добавлением анализа потоков эксергии в теплонасосной установке.

Подвод энергии в испарителе теплового насоса (участок А-В рисунок 2)

$$i_A + \Delta i_{\text{конд}} = i_B, \text{ кДж/кг.} \quad (25)$$

Эксергия подведенная в испаритель теплового насоса от конденсатора паровой турбины:

$$E_B - E_A = Q_k \cdot \left(1 - T_0 / T_{\text{ср}}^B\right), \text{ кДж.} \quad (26)$$

где Q_k - теплота подведенная от конденсатора паровой турбины к рабочему телу теплового насоса, кДж;

$T_{\text{ср}}^B$ - температура рабочего тела теплового насоса на выходе из испарителя, К.

Подвод энергии в генераторе теплового насоса (участок В-С рисунок 2)

$$i_B + \Delta i_{\text{ген.}} + \Delta i_{\text{ВЭУ}} = i_C, \text{ кДж/кг.} \quad (27)$$

Повышение эксергии в генераторе теплового насоса

$$E_C - E_B = Q_{\text{ТНУ}} \cdot \left(1 - T_0 / T_{\text{ср}}^C\right), \text{ кДж,} \quad (28)$$

где $Q_{\text{ТНУ}}$ - теплота подведенная в генераторе теплового насоса, кДж.

$$Q_{\text{ТНУ}} = Q_{\text{ВЭУ}} + Q_{\text{доп.ист.}} + Q_B, \text{ кДж,} \quad (29)$$

где $Q_{\text{ВЭУ}}$ - энергия подведенная от ветроэнергетической установки, кДж;

$Q_{\text{доп.ист.}}$ - дополнительный источник энергии для поддержания стабильной работы ТН, кДж;

Q_B - количество теплоты подводимое от испарителя, кДж.

Эксергия на выходе из генератора составляет

$$E_C = E_{\text{ТНУ}} = E_{\text{ВЭУ}} + E_{\text{доп.ист.}} + E_{\text{хим}} + E_B, \text{ кДж.} \quad (30)$$

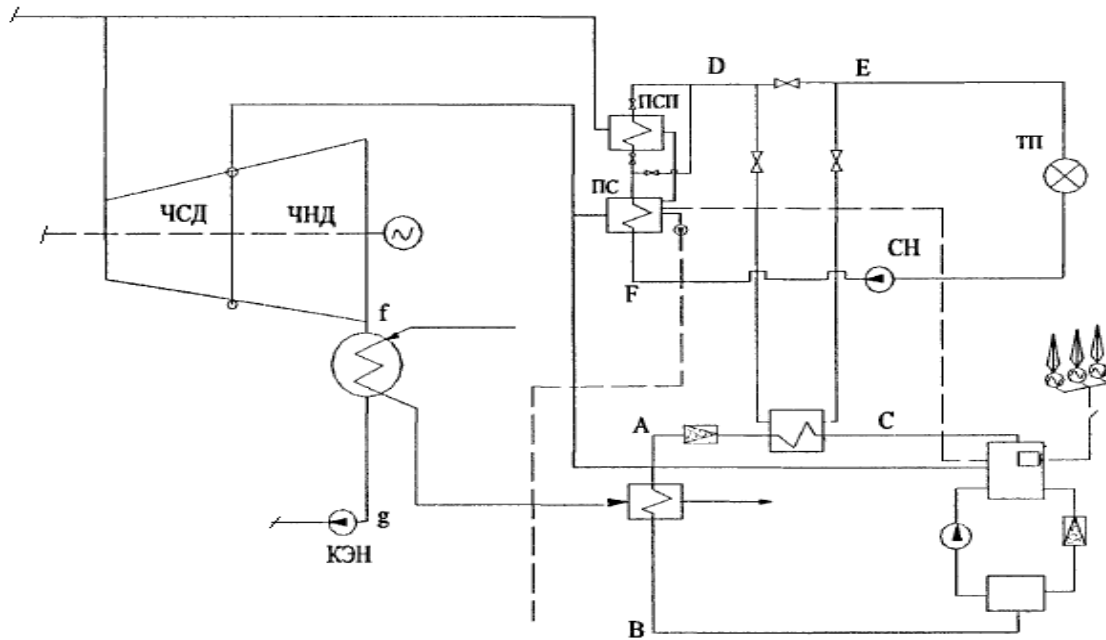


Рисунок 2 - Принципиальная схема ТЭЦ с КТС при подогреве прямой сетевой воды

$$E_{ВЭУ} = Q_{ВЭУ} \left(1 - T_0 / T_{ср}^c \right) = mW^2 / 2 - \Delta E_{пот}, \quad (31)$$

где $mW^2 / 2$ - кинетическая энергия ветра, кДж

$T_{ср}^c$ - температура рабочего тела в генераторе, К

Эксергия подведенная к прямой сетевой воде в конденсаторе теплового насоса:

$$E_E - E_D = Q_{ТНУ} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^E \right), \text{кДж} \quad (32)$$

где $T_{ср}^E$ - температура прямой сетевой воды на выходе из конденсатора теплового насоса, К;

Повышение эксергии сетевой воды вследствие подвода отборного пара турбины в количестве $a_{от}$ в сетевом подогревателе (участок F - D на рисунок 2):

$$E_D - E_F = Q_{от} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^D \right), \text{кДж}, \quad (33)$$

где $Q_{от}$ - теплота переданная сетевой воде отборным паром турбины, кДж;

$T_{ср}^D$ - температура сетевой воды на выходе из сетевого подогревателя, К;

T_0 - температура окружающей среды, К.

Эксергия подведенная тепловому потребителю:

$$E_E = E_F + Q_{от} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^D \right) + Q_{ТНУ} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^E \right), \text{кДж}. \quad (34)$$

Эксергетический КПД теплоэлектроцентрали и комбинированной теплоснабжающей системы при совместной работе (при подогреве прямой сетевой воды):

$$\eta_e^{ТЭЦ+КТС} = \frac{L + Q_{от} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^D \right) + Q_{ТНУ} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^E \right)}{Q_{топл} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^a \right) + Q_{ВЭУ} \cdot \left(1 - T_0 / T_{ср}^c \right)}; \quad (35)$$

или

$$\eta_e^{ТЭЦ+КТС} = \frac{L + E_D + E_E}{E_{топл} + E_{ВЭУ}}. \quad (36)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты расчета эксергетического КПД ТЭЦ при совместной работе с КТС при подогреве прямой сетевой воды на 10°C

Сетевая вода	Паровая турбина	Парогенератор	Параметры КТС	Эксергетический КПД
$T_D = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_F = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_E = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ $G_{с.в} = 138\text{ кг/с}$ $Q_{ТП} = 17,4\text{ МВт}$	$a_{отб} = 7,15\text{ кг/с}$ $y_{отб} = 0,223$ $D_0 = 84,6\text{ кг/с}$ $N_{Э} = 50\text{ МВт}$ $Q_{отб} = 17,4\text{ МВт}$	$B = 7,8\text{ кг/с}$ у.т. $Q_{топ} = 213\text{ МВт}$	$Q_{ТНУ} = 5,9\text{ МВт}$ $Q_{ВЗУ} = 3,3\text{ МВт}$ $Q_{исп} = 2,6\text{ МВт}$	$\eta_e^{ТЭЦ} = 39,17\%$

По результатам расчета видно, что рост эксергетического КПД при внедрении комбинированной теплоснабжающей системы в состав ТЭЦ для подогрева прямой сетевой воды составил 0,87 %. Общий КПД ТЭЦ+КТС при подогреве прямой сетевой воды на 10°C составил $\eta_e^{ТЭЦ} = 39,17\%$.

Список литературы

1. Андрущенко А.И. Основы термодинамики циклов теплотехнических установок. - М.- Высшая школа, 1977. – 267 с.
2. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. -М.: Энергия, 1973. – 296 с.
3. Иванов В. А. Режимы мощных паротурбинных установок. - Л.: 1986, - 248 с.
4. Качан А.Д. Оптимизация режимов и повышение эффективности работы паротурбинных установок ТЭС. - Минск: 1985, - 176 с.

УДК 696.2.046

Головач Юлия Александровна,
ассистент кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ДИАМЕТРОВ ГАЗОПРОВОДОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

На основе статистических данных о повреждениях подземных распределительных газопроводов города Горловка Донецкой области получено, что значительное количество отказов связано с коррозионными повреждениями. С использованием статистических данных о всех видах повреждений подземных газопроводов, вследствие которых возникают утечки газа, разработана методика определения интегрального удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации и диаметра газопроводов. Выявлено, что интегральный удельный параметр потока отказов зависит от диаметра газопроводов и продолжительности эксплуатации. Снижение диаметра и увеличение времени эксплуатации ведет к увеличению параметра потока отказов.

Ключевые слова: надежность, распределительные газопроводы, коррозия, интегральный удельный параметр потока отказов, диаметр газопровода, продолжительность эксплуатации

Современные распределительные сети газопроводов представляют собой сложные разветвленные системы, в которых особое внимание уделяется надежности подземных газопроводов. Именно они являются наиболее повреждаемыми элементами и требуют значительных материальных и человеческих ресурсов при выполнении ремонтно-восстановительных работ.

Вероятность безотказной работы системы определяется главным образом параметром потока отказов [1], обоснование численных значений которого невозможно без экспериментальных и статистических исследований, а также прогнозирования их на перспективу. Такие исследования производились в работах [2,3], позволяя выявить основные причины возникновения отказов и влияние различных факторов на них. Главным образом, было установлено, что диаметр газопровода и толщина стенки трубы влияют на надежность газовой сети [4,5]. Зависимость параметра потока отказов от диаметра газопровода подтверждают и исследования, представленные в работе [6].

В виду того, что распределительные системы газопроводов являются системами длительного действия, с увеличением продолжительности эксплуатации системы увеличивается и вероятность возникновения отказов [7]. При определении зависимости параметра потока отказов от времени эксплуатации на точность аппроксимации экспериментальных данных влияет выбор шага продолжительности эксплуатации, в течение которого параметр потока отказов принимается постоянным.

Целью данной статьи является разработать методику определения интегрального удельного параметра потока отказов с учетом диаметра газопроводов и продолжительности эксплуатации.

Для получения данных зависимостей были проанализированы все случаи повреждений газовых сетей всех давлений г. Горловка за период 1966-2011 год. Анализ повреждений подземных распределительных газопроводов г. Горловки за период 1984 - 2011 год показал, что 64 процентов всех утечек из подземных газопроводов приходится на коррозионные повреждения (92 утечки), 31% - влияние горных подработок (45 утечек), 3% - механические повреждения (4 утечки) и 2% разрыв сварного шва (3 утечки).

Газопроводы представлены следующими диаметрами (наружный диаметр х толщина стенки трубы): 57х3, 76х4, 89х4, 108х4, 114х4, 133х4, 159х4,5, 219х7, 273х7, 325х8, 426х9 и 530х10 мм. Коэффициент SDR, который показывает соотношение наружного диаметра к толщине стенки трубы, для данного ряда диаметра составляет соответственно 19; 19; 22,3; 27; 28,5; 33,3; 35,3; 31,3; 39; 40,6; 47,3; 53.

С целью повышения точности аппроксимации экспериментальных данных во время исследования их повреждаемости при определении параметра потока отказов газопроводов необходимо оптимизировать шаг продолжительности эксплуатации газопроводов, в течение которого параметр потока отказов принимается постоянным.

В этих целях разработана методика выбора шага продолжительности эксплуатации газопроводов.

Введем следующие обозначения: i – наружный диаметр газопровода; $i = 57, 76, 89, 108, 114, 133, 159, 219, 273, 325, 426, 530$ мм; j – шаг продолжительности эксплуатации газопровода, $j = 1, 10$; k – календарный год заложения газопровода; c – календарный год обнаружения утечки на газопроводе; L_k – протяженность газопроводов всех диаметров k -го года заложения, м; L_{ki} – протяженность газопроводов i -го диаметра k -го года заложения, м; T_k – период эксплуатации газопровода k -го года заложения, на котором наблюдались повреждения, $T_k = c - k$.

Удельный параметр потока отказов рассчитывается по формуле

$$w_k = \begin{cases} \frac{n_k}{T_k \cdot L_k}, & n' = 1; \\ \frac{\sum w_k \cdot L_k}{\sum L_k}, & n' \neq 1; \end{cases} \quad (1)$$

где n_k – количество повреждений на газопроводах k -го года заложения, на которых наблюдалось повреждение, шт., за расчетный период времени T_k' , принимаемый равным 1 году;

L_k – протяженность газопроводов k -го года заложения, м,

n' – количество данных с одинаковыми значениями продолжительности эксплуатации газопроводов T_k , рассчитываемой по формуле

$$T_k = c - k \quad (2)$$

Учитывая, что срок амортизации стальных газопроводов в соответствии с НПА ОП 0.00-1.20-98 Правила безопасности систем газоснабжения Украины принимается равным 30 годам, рассчитываем параметр потока отказов за период эксплуатации от $p = 1$, соответствующего значению $T_{kmin} = 15$ лет до $p = 30$, соответствующего значению $T_k = 44$ года, с шагом $j = 1, 10$ по формуле

$$w_{jp-m;j} = \frac{1}{j} \sum_{m=0}^{j-1} w_{jp-m}, \quad (3)$$

где $m = \overline{0, j-1}$; $p = \overline{0, 30}$.

Среднеарифметическое значение параметра потока отказа, рассчитанного с шагом j , определяется по формуле

$$E_{wp} = \frac{\sum w_{jp-m;j}}{\alpha} \quad (4)$$

где α – количество вариантов выбранного шага, $\alpha = 10$.

Рассчитывается среднеквадратичная погрешность результатов

$$\Delta S_w = \sqrt{\frac{p_{\max} \sum (w_{jp-m,j} - E_{wp})^2}{p_{\max} - 1}} \quad (5)$$

Выбирается шаг, при котором $\Delta S_w \rightarrow \min$.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 1.

Таблица 1

j, год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔS_w	27,10	16,85	10,76	11,14	9,88	9,12	10,11	9,63	9,92	11,11

Среднеквадратичная погрешность результатов принимает минимальное значение 9,12 при шаге $j = 6$ лет, следовательно, при расчете показателей надежности принимаем шаг продолжительности эксплуатации равный 6 годам.

Для получения зависимости интегрального удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации и диаметра газопроводов принимается в расчет только коррозионные повреждения ввиду того, что с течением времени изнашивается изоляционное покрытие газопровода и увеличиваются риски развития коррозии труб.

Удельный параметр потока отказов рассчитывается по формуле

$$w_k = \begin{cases} \frac{n_{ki}}{T_k' \cdot L_{ki}}, & n' = 1; \\ \frac{\sum w_{ki} \cdot L_{ki}}{\sum L_{ki}}, & n' \neq 1; \end{cases} \quad (6)$$

где n_{ki} – количество повреждений на газопроводах k -го года заложения i -го диаметра, шт., за расчетный период времени T_k' , принимаемый равным 1 году;

L_{ki} – протяженность газопроводов k -го года заложения i -го диаметра, м;

n' – количество данных с одинаковыми значениями продолжительности эксплуатации газопроводов i -го диаметра T_k .

Определяется зависимость удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации газопроводов для всех диаметров труб, на которых были зафиксированы утечки.

Расчет параметра потока отказов производится при интегральном распределении в интервале от $p = 1$, соответствующего значению $T_{kmin}=15$ лет до $p=30$, соответствующего значению $T_k=44$ года) с шагом 6 лет. Для формирования таблицы с исходными данными разбиваем интервал $p = \overline{0,30}$ на промежутки с количеством данных, равных оптимальному шагу продолжительности эксплуатации ($r=6$ лет). Таким образом, получаем пять промежутков, в каждом из которых определяется параметр потока отказов.

Определяется среднее значение продолжительности эксплуатации в каждом интервале.

Для первого интервала ($p = \overline{1,6}$ $T_{kcp} = (2T_{kmin} + r - 1)/2$, для второго ($p = \overline{7,12}$ $T_{kcp} = (2T_{kmin} + 3r - 1)/2$, для третьего ($p = \overline{13,18}$ $T_{kcp} = (2T_{kmin} + 5r - 1)/2$, для четвертого ($p = \overline{19,24}$ $T_{kcp} = (2T_{kmin} + 7r - 1)/2$, для пятого ($p = \overline{25,30}$ $T_{kcp} = (2T_{kmin} + 9r - 1)/2$).

Параметр потока отказов в каждом интервале рассчитывается по формуле

$$w_{ki}' = \frac{1}{tr} \sum_{s=1}^{tr} w_{ki}, \quad t = \overline{1,5}. \quad (7)$$

При помощи программы CurveExpert Professional было получено, что зависимости интегрального удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации можно описать уравнением Вейбулла

$$w_{ki}' = a - be^{-cT_{кр}}d \quad (8)$$

Коэффициенты a, b, c, d полученных уравнений регрессии, коэффициенты корреляции r и значения числа Фишера F представлены в таблице 2.

Вследствие того, что на диаметре 159х5 мм наблюдается скачок коэффициента SDR, меняется характер кривой, уравнение зависимости удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации и диаметра газопроводов выводятся для двух диапазонов диаметров 57-159 мм и 219-530 мм.

Уравнение зависимости удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации и диаметра газопроводов имеет вид

$$w_{ki}' = a + b \cdot T_{кр} + c \cdot D + d \cdot T_{кр}^2 + e \cdot D^2 + f \cdot T_{кр}^3 + g \cdot D^3 + h \cdot T_{кр} \cdot D + i \cdot T_{кр}^2 \cdot D + j \cdot T_{кр} \cdot D^2, \quad (9)$$

Таблица 2 – Коэффициенты уравнений регрессии, коэффициенты корреляции и рассчитанное число Фишера для различных диаметров газопроводов

Диаметр газопровода, мм	Коэффициенты уравнения Вейбулла (8)				Коэффициент корреляции r	Число Фишера F
	a	b	c	d		
57	0,0007617	0,0005198	9,2303E-13	7,4099	0,9938	60,4241
76	0,0015081	0,001324	4,6240E-14	7,9429	0,9971	128,8695
89	0,0007129	0,0005654	6,6088E-13	7,2189	0,9991	438,3271
108	0,0039000	0,003841	2,9485E-12	6,3201	0,9988	302,0516
114	0,0003328	0,0002711	1,3809E-13	7,6078	0,9969	121,6554
133	0,0039683	0,003930	1,1144E-12	6,4038	0,9723	13,7460
159	0,0001161	9,7572E-05	1,3438E-11	6,8819	0,9994	610,4012
219	5,544E-05	2,2123E-05	2,4225E-11	6,7224	0,9803	19,1943
273	7,6696E-05	5,6766E-05	2,1883E-12	6,8350	0,9356	6,0153
325	2,8232E-05	2,3897E-05	2,0498E-13	7,5345	0,9962	98,4803
426	2,5875E-05	1,9152E-05	2,1493E-12	6,8385	0,9356	6,0200
530	2,6273E-05	7,3076E-06	3,4033E-07	3,4007	0,9624	10,1640

В диапазоне 57-159 мм

$$w_{ki}' = 0,000614484 - 2,56741 \cdot 10^{-5} \cdot T_{кр} - 4,18555 \cdot 10^{-7} \cdot D - 3,20662 \cdot 10^{-8} \cdot T_{кр}^2 - 9,23756 \cdot 10^{-8} \cdot D^2 + 1,86872 \cdot 10^{-8} \cdot T_{кр}^3 + 3,32416 \cdot 10^{-10} \cdot D^3 + 4,31828 \cdot 10^{-7} \cdot T_{кр} \cdot D - 1,0681 \cdot 10^{-8} \cdot T_{кр}^2 \cdot D + 3,21759 \cdot 10^{-10} \cdot T_{кр} \cdot D^2 \quad (10)$$

В диапазоне 219-530 мм

$$w_{ki}' = 0,000235718 - 1,49368 \cdot 10^{-7} \cdot T_{кр} - 1,47445 \cdot 10^{-6} \cdot D - 1,56316 \cdot 10^{-8} \cdot T_{кр}^2 + 2,96547 \cdot 10^{-9} \cdot D^2 + 1,10756 \cdot 10^{-9} \cdot T_{кр}^3 - 1,97219 \cdot 10^{-12} \cdot D^3 + 8,86527 \cdot 10^{-11} \cdot T_{кр} \cdot D - 1,55135 \cdot 10^{-10} \cdot T_{кр}^2 \cdot D + 9,26483 \cdot 10^{-12} \cdot T_{кр} \cdot D^2 \quad (11)$$

Выводы

В результате статистического анализа повреждения газопроводов г. Горловка было установлено, что основными причинами повреждений является коррозия и влияние горных подработок. На основании разработанной методики выбора расчетного шага продолжительности эксплуатации газопроводов, который составил 6 лет, и расчете интегрального удельного параметра потока отказов были получены зависимости интегрального удельного параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации и диаметра газопроводов. Выявлено, что уменьшение диаметра и увеличение времени эксплуатации ведет к увеличению параметра потока отказов. Дальнейшая работа будет

продолжена в направлении обоснований значений показателей надежности, рекомендованных в качестве нормативных.

Список литературы

1. Надежность городских систем газоснабжения / А.А. Ионин, К.С. Алибеков, В.А. Жила, С.С. Затикян: под ред. А.А. Ионина. М.: Стройиздат, 1980. – 231 с.
2. EGIG - European Gas Pipeline Incident Report Group (2011) 8th Report of the European Gas Pipeline Incident Group 1970-2010. Report 11.R.0402 (version 2) URL <http://www.egig.nl>
3. PHMSA 2012 Pipeline Failure Investigation Reports, U.S. Department of Transportation, Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration, Data & Statistic URL <http://www.phmsa.dot.gov/pipeline/library>
4. Lihang Wang 2016 Reliability Analysis of Gas Pipeline with Corrosion Defects. Journal of Materials Science and Engineering B 6 (3-4) (2016) pp101–104
5. Zvirko O. I., Savula S. F., Tsependa V. M., Gabetta G., Nykyforchyn H. M. 2016 Stress corrosion cracking of gas pipeline steels of different strength URL <https://www.researchgate.net/publication/305623271>
6. Захаров В.И., Головач Ю.А. Анализ влияния диаметров и толщин стенок трубопроводов на вероятность безотказной работы газовых сетей 2017 Сборник трудов II Международной научно-технической конференции 23-24 ноября 2017 г. в г. Белгород. Ответственный редактор П.А. Трубаев. Стр. 28-34.
7. Iesmantas T and Alzbutas R 2011 Age-dependent probabilistic analysis of failures in gas pipeline networks. Proceedings of the of 8th Annual Conference of Young Scientists on Energy Issues. CYSENI 2011, 26–27 May 2011, Lithuania. ISSN 1822–7554. pp 1–9

УДК 504.3

Зубрицкая Анна Владимировна,
магистрант кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Выборнов Дмитрий Владимирович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАССЕИВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

В данной работе были проанализированы и описаны математические модели загрязнения атмосферного воздуха. Проведен анализ методов по рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере по методикам МРР-2017 и Пасквилла (Гауссова модель). Сделан вывод о том, что для расчетов рассеивания загрязняющих веществ выброса объектов теплоэнергетики для различных категорий состояния атмосферы в условиях постоянства метеорологических факторов предпочтительнее использовать методику Пасквилла, основанную на модели Гаусса.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, рассеивание примесей, моделирование, методика МРР-2017, Гауссова модель

Формулировка проблемы. Проблема охраны окружающей среды и ее восстановления становится одной из важнейших задач науки, развитие которой стимулируется возрастающими темпами технического прогресса во всех странах мира. Процессы переноса загрязняющих веществ от объектов энергетики являются существенным фактором, влияющим на социальную обстановку, экономическое и экологическое состояние регионов. Таким образом, для прогнозирования возможных последствий опасных выбросов и принятия решения по реагированию, необходима качественная оценка этих параметров. Сейчас во многих странах разработаны и получили широкое применение различные методики оценивания загрязнения атмосферы, которые основаны на различных математических моделях турбулентного переноса и рассеивания примесей таких веществ. Необходимость повышения точности прогнозирования содержания таких веществ в атмосфере определяет актуальность выбранной темы с целью предотвращения или уменьшения их воздействия на экосистему.

Анализ последних исследований и публикаций. Обзор исследования, проведенный автором [6] показал реальные масштабы техногенных процессов, которые обуславливают большие объемы рассеивания вредных веществ от сжигания органического топлива. В работе [1] рассмотрены основные математические модели, которые применяются для оценки загрязнения атмосферы и существующие компьютерные программы для прогнозирования распространения вредных веществ. Работа [2] посвящена анализу теоретических основ рассеивания примесей в атмосфере и моделирования и моделирования поля концентраций загрязняющих веществ. Несмотря на большое количество информации о моделировании рассеивания вредных веществ от промышленных предприятий, вопрос распространения выбросов от сжигания органического топлива теплогенерирующим оборудованием остается не полностью изученным.

Цель. Проведение анализа методик рассеивания вредных примесей в атмосфере и выбор наиболее точной математической модели, описывающей процесс рассеивания вредных веществ от сжигания органического топлива.

Основной материал. Для котельных характерен выход через дымовую трубу в атмосферу химических загрязнителей в виде газов и аэрозолей, образующихся при сжигании

органического топлива. Основные из них – оксиды азота, оксиды серы, диоксид углерода и микроэлементы (мышьяк, кадмий, никель, кобальт, медь, свинец, ртуть), содержащиеся в угле, значительная часть которых не улавливается фильтрами.

Соблюдение установленных норм [3] содержания вредных веществ в приземном слое атмосферы требует прогнозирования на основе математических моделей с использованием метеорологических данных, адекватно отражающих рассеивание, и последующего контроля содержания таких веществ в атмосферном воздухе. Разработано множество моделей разной степени сложности [8]. Как правило, на практике их использование сопряжено с большими трудностями.

Для высоких источников, каковыми являются дымовые трубы, ключевыми функциями рассеивания являются: распределение приземных концентраций загрязняющих веществ в направлении оси струи выброса, значения максимальной концентрации, расстояния от источника, на котором они достигаются и опасной скорости ветра. Для одного и того же источника эти функции определяются типом устойчивости атмосферы и скоростью ветра.

В настоящее время для моделирования качества атмосферного воздуха применяются два класса моделей распространения примесей в атмосфере: модели рассеивания примесей и модели загрязнения атмосферного воздуха.

Для применения таких моделей необходимо иметь соответствующую метеорологическую и географическую информацию, а также данные об источниках загрязнения и выбросы.

Модели рассеивания описывают процессы турбулентной диффузии в атмосфере [1, с. 156]:

- Модель Эйлера, позволяющая численно решать уравнения атмосферной диффузии. Имеет в своей основе уравнения сохранения массы для данного загрязнителя;
- Модель Лагранжа дает возможность прогнозировать распространения загрязняющих веществ, учитывая изменения базовой сетки, которая не привязана к географическим координатам. Эти изменения в целом зависят от того, насколько направление ветра близко к направлению движения загрязняющего облака.
- Гауссова модель обычно используется для анализа распространения мелкодисперсной смеси воздуха с загрязнителем. Она основана на принципе того, что загрязнитель будет распространяться в соответствии с нормальным распределением. Такая модель чаще других используется для прогнозирования распространения непрерывных выбросов, которые начинаются на уровне земли или надземных источников. Между тем, она может использоваться и для расчета прерывистых выбросов.

К моделям загрязнения атмосферного воздуха можно отнести:

- полуэмпирические модели, главным образом базируются на эмпирической параметризации. Также могут применяться для описания процессов турбулентной диффузии в атмосфере в моделях рассеивания;
- стохастические модели, основанные на полуэмпирических или статистических методах и ориентированные на проведение анализа соотношения между качеством атмосферного воздуха и измерениями атмосферных параметров, или на прогнозировании случаев повышенного загрязнения воздуха;
- рецептурные модели, рассматривающие концентрации загрязнителей, измеренные в рецепторной точке, и оценивают процентный вклад различных источников в этой концентрации.

Опыт построения моделей распространения различных загрязнителей атмосферы свидетельствует о том, что рассмотренные выше модели является их базисным математическим аппаратом с различными дополнениями в виде математических уравнений, описывающих турбулентность, осаждения и т.д.

Практическая программная реализация таких математических моделей является сложной системой, проектируется под конкретную задачу и учитывает различные факторы. Например, такие как: динамика турбулентных воздушных потоков; перенос тепла, пыли и реагирования газообразных загрязнителей; переноса солнечного и диффузного излучения; влияние излучения на тепловые процессы и испарения; поглощения (и высвобождения) газообразных загрязнителей каплями.

Наиболее известными реализациями моделей рассеивания концентраций вредных веществ является методика Всемирного банка; сведения методик HGSYSTEM; методики, разработаны с поддержкой ведущих зарубежных исследовательских организаций TNO - the Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (Нидерланды), Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегия) и программные комплексы «ТОКСИ» различных версий, «ТОКСИ+», «ТОКСИ+Risk» (РФ), ALOHA (США) [1, с. 158].

В отечественной практике в настоящее время используются в основном две методики, рекомендуемые для расчета загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами. Это современные методы расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе – МРР-2017, и методика, разработанная Ф. Пасквиллом (так называемая Гауссова модель).

В основе методики МРР-2017 [5] лежат предположения о влиянии на характер и масштабы рассеивания загрязняющих веществ в приземной части атмосферы как метеорологических параметров (стратификация атмосферы, скорость и направление ветра, температура воздуха), так и параметров источника выброса и состава газоаэрозольной смеси.

Восстановление пространственного распределения концентрации загрязняющих веществ базируется на расчете максимального значения приземной концентрации, скорости ветра и расстояния от источника выброса до точки с максимальной приземной концентрацией.

Алгоритм определения опасной скорости ветра и расстояния от источника выброса до точки с максимальной приземной концентрацией в данной работе не приводится.

Для одиночного точечного источника с круглым устьем максимальная величина приземной разовой концентрации загрязняющих веществ (для газообразного топлива наиболее значимыми являются оксид углерода и оксиды азота) от выброса пылегазовоздушной смеси вычисляется по уравнению

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot t \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}, \quad (1)$$

где A – коэффициент, определяемый типом стратификации атмосферы;

M_i – активность загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени, г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – безразмерные коэффициенты, зависящие от условий выхода газоаэрозольной смеси из дымовой трубы;

H – высота источника выброса, м;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

ΔT – перепад между температурой выбрасываемой газоаэрозольной смеси и температурой атмосферного воздуха, °С;

V – объемный расход газоаэрозолей, м³/с, определяется по формуле

$$V = V_0 \cdot \alpha \cdot 1,1 \cdot \frac{273 + T_{yx}}{273} \cdot B_0, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (2)$$

где V_0 – теоретически необходимый расход воздуха для сжигания топлива, м³/м³;

α – коэффициент избытка воздуха;

T_{yx} – температура уходящих газов из дымовой трубы, °С;

B_o – расход топлива, м³/с.

$$V = 6,18 \cdot 1,05 \cdot 1,1 \cdot \frac{273 + 210}{273} \cdot 0,22 = 2,78 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Активность загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени, вычисляется по уравнению

$$M_i = 10^{-6} \cdot k_i \cdot B \cdot Q_{H^p}^p, \frac{\text{г}}{\text{ГДж}}, \quad (3)$$

где k_i – показатель эмиссии i -го загрязняющего вещества, г/ГДж;

B – расход топлива в единицу времени, кг/с;

$Q_{H^p}^p$ – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Показатель эмиссии оксидов азота определяется по формуле

$$k_{NOx} = (k_{NOx})_o \cdot f_H \cdot (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2 \cdot \beta), \frac{\text{г}}{\text{ГДж}}, \quad (4)$$

где $(k_{NOx})_o$ – показатель эмиссии азота без учета мер сокращения выброса, г/ГДж;

η_1 – эффективность первичных мер по сокращению выброса;

η_2 – эффективность вторичных мер (азотоочистной установки);

β – коэффициент работы азотоочистной установки;

f_H – степень уменьшения выброса NO_x при работе на низкой нагрузке, определяется по формуле

$$f_H = \left(\frac{Q_\phi}{Q_H} \right)^z, \quad (5)$$

где Q_ϕ – фактическая тепловая мощность энергетической установки, МВт;

Q_H – номинальная тепловая мощность энергетической установки, МВт;

z – эмпирический коэффициент, который зависит от вида энергетической установки, ее мощности, типа топлива и определяется во время испытаний энергетической установки.

$$k_{NOx} = 100 \cdot \left(\frac{14,58}{19,3} \right)^{1,25} \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 1 \cdot 0) = 70,43 \frac{\text{г}}{\text{ГДж}}.$$

Показатель эмиссии оксида углерода составляет 17 г/ГДж.

$$M_{NOx} = 10^{-6} \cdot 70,43 \cdot 0,165 \cdot 10^3 \cdot 48,09 = 0,559 \frac{\text{г}}{\text{с}};$$

$$M_{CO} = 10^{-6} \cdot 17 \cdot 0,165 \cdot 10^3 \cdot 48,09 = 0,135 \frac{\text{г}}{\text{с}};$$

$$C_{NOx} = \frac{200 \cdot 0,559 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{2,78 \cdot 202}} = 0,0151 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{CO} = \frac{200 \cdot 0,135 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{2,78 \cdot 202}} = 0,0036 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}.$$

Методика МРР-2017 рекомендована в настоящее время для проведения расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с целью нормирования и установления предельно допустимых выбросов.

Недостатком данной методики считается ограниченность рекомендаций для вычисления рассеивания загрязняющих веществ при задании конкретных метеорологических условий в случае кратковременно действующего источника. Данную методику затруднительно применять для прогнозных расчетов при конкретных метеорологических условиях и специфических источниках выбросов. Кроме этого, методика МРР-2017 не позволяет в полной мере учесть тип подстилающей поверхности.

Методика Пасквилла [7] основана на Гауссовой модели рассеивания в соответствии с рисунком 1. При истечении загрязняющих веществ в атмосферу образуется облако, которое сносится вместе с окружающим атмосферным воздухом по направлению ветра. В процессе

движения происходит турбулентное перемешивание с окружающим атмосферным воздухом, что приводит к расширению облака в пространстве и изменению концентрации загрязняющих веществ в нем. В итоге формируется пространственное распределение концентрации загрязняющих веществ, которое в самом общем случае описывается нормальным (Гауссовым) законом.

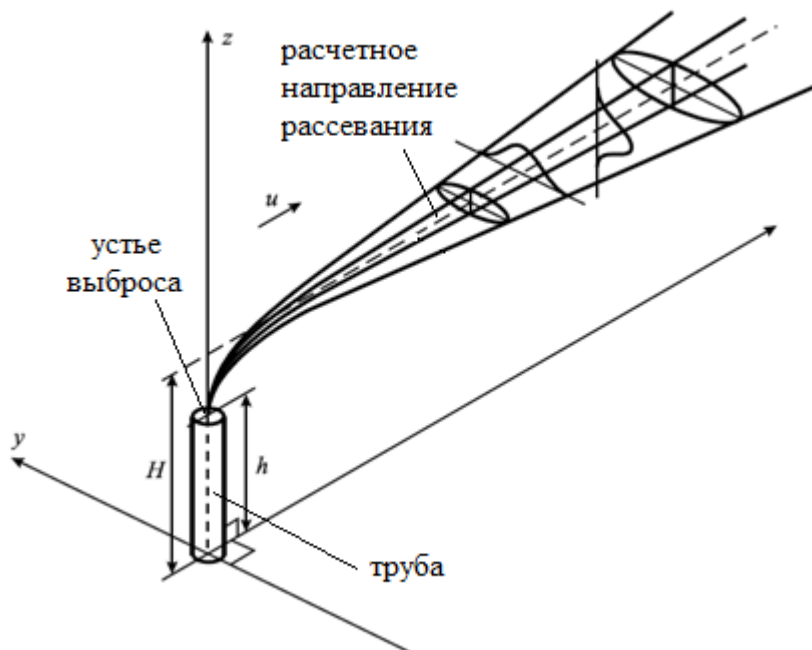


Рисунок 1 – Схема Гауссовой струи [4, с. 34]

В соответствии с этой методикой [4, с. 33], при неизменных метеорологических условиях диффузия примеси от непрерывного источника приводит к приземной концентрации вредных веществ, которую можно найти с помощью выражения

$$C_m = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \exp\left(\frac{-y^2}{\sigma_y^2}\right) \exp\left[\left(\frac{-(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+h)^2}{\sigma_z^2}\right)\right], \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}, \quad (6)$$

где q – мощность источника, г/с;

h – высота источника, м;

u – средняя скорость ветра, м/с;

y – поперечно-горизонтальное направление;

z – ось направлена вертикально вверх;

σ_y, σ_z – горизонтальная и вертикальная функции рассеяния от источника, показывающие, как меняется ширина гауссовой струи с увеличением расстояния x от источника загрязнения. В модели Паскуилла–Бриггса значения функций рассеяния задаются в зависимости от класса устойчивости атмосферы. Каждому классу устойчивости соответствуют определенные значения скорости ветра u и степени дневной инсоляции и ночной облачности.

Приняв для σ_y, σ_z формулы, соответствующие классу устойчивости С для условий городской застройки

$$\sigma_y = 0,22 \cdot x \cdot (1 + 0,0004 \cdot x)^{-\frac{1}{2}}, \text{ м}; \quad (7)$$

$$\sigma_z = 0,2 \cdot x, \text{ м} \quad (8)$$

$$\sigma_y = 0,22 \cdot 120 \cdot (1 + 0,0004 \cdot 120)^{-\frac{1}{2}} = 25,79 \text{ м};$$

$$\sigma_z = 0,2 \cdot 120 = 24,0 \text{ м};$$

$$C_{Nox} = \frac{0,559}{2 \cdot 3,14 \cdot 25,79 \cdot 24 \cdot 3,5} \exp\left(\frac{-1^2}{25,79^2}\right) \exp\left[\left(\frac{-(27-30)^2}{24^2}\right) + \exp\left(\frac{-(27+30)^2}{24^2}\right)\right] =$$
$$= 0,0116 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{co} = \frac{0,135}{2 \cdot 3,14 \cdot 25,79 \cdot 24 \cdot 3,5} \exp\left(\frac{-1^2}{25,79^2}\right) \exp\left[\left(\frac{-(27-30)^2}{24^2}\right) + \exp\left(\frac{-(27+30)^2}{24^2}\right)\right] =$$
$$= 0,0028 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}.$$

К достоинствам модели Гаусса относится возможность учесть влияние на распределение загрязняющего вещества важных факторов (состояние устойчивости атмосферы; тип (шероховатость) подстилающей поверхности; тепловой подъем струи вследствие перегрева выбрасываемой газоаэрозольной смеси; выпадение примесей на поверхность земли).

Недостатки – ограничения использования по скорости ветра (модель нельзя использовать при $u < 1$ м/с) и расстояниям от источника (модель работает до 10 км).

Выводы. С целью повышения точности прогнозирования поведения выброса от теплогенерирующих установок в атмосфере проведен анализ математических моделей переноса загрязняющих веществ, рассмотрены алгоритмы расчета рассеивания примесей в приземном слое атмосферы по двум методикам: МРР-2017 и Пасквилла. По результатам исследования сделан вывод о том, что для расчетов рассеивания газообразных загрязняющих веществ от источника в условиях постоянства метеорологических факторов предпочтительнее использовать методику Пасквилла, так как она позволяет учесть более широкий набор определяющих параметров, адекватно описывающих местные метеорологические условия и тип подстилающей поверхности. Однако, в виду многогранности и многоаспектности подходов к моделированию необходимо произвести более детальное изучение различных математических моделей для получения достоверного результата. Поиск методов к решению данной задачи является дальнейшим направлением исследования.

Список литературы

1. Адаменко М.І. Аналіз існуючих математичних моделей і комп'ютерних програм для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері / М.І. Адаменко, М.Д. Кацман, Є.С. Білецька // Система обробки інформації. – 2018. – №1(152). – С.155-162.
2. Антонова А.М. Моделирование распространения в атмосфере загрязняющих веществ выбросов электростанций на базе программного комплекса «СКАТ» / А.М. Антонова, А.В. Воробьев, В.А. Воробьев, Е.М. Дутова, В.Д. Покровский // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 6. – С. 174-186.
3. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений – Введ. 2017-12-22. – 35 с.
4. Зарипов Ш.Х. Математические модели переноса загрязнений в окружающей среде / Ш.Х. Зарипов, Р.Ф. Марданов, А.К. Гильфанов, В.Ф. Шарафутдинов, Т.В. Никоненкова – Казань: Казан. ун-т, 2018. – 47 с.
5. Методы расчетов рассеивания вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. Утв. Приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273. – М.: Ростехнадзор, 2017. – 110 с.

6. Плачкова, С. Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире / С. Г. Плачкова // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5>
7. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 июня 2010 г. № 465. – М.: Ростехнадзор, 2010. – 111 с.
8. Goulart A.G.O. Fractional derivative models for atmospheric dispersion of pollutants / A.G.O. Goulart, M.J. Lazo, J.M.S. Suarez, D.M. Moreira // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2017. – V. 477. – P. 9–19.

УДК 621.6.07

Синельников Владимир Викторович,
магистрант 2-го курса,
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Удовиченко Злата Викторовна,
к.т.н., доцент, доцент
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

«МЕТОД КРИВЫХ» - НОВОЕ РЕШЕНИЕ ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКЕ ГАЗОПРОВОДОВ

В данной статье рассмотрен инновационный метод строительства газопроводов при пересечении естественных и искусственных преград, использование предварительно изогнутых труб при капитальном ремонте и строительстве различных переходов бестраншейным методом. Проанализированы вопросы, определяющие комплексный подход на всех этапах проектирования и строительно-монтажных работ, для уменьшения ущерба и минимизации воздействия на окружающую среду, а также повышения надежности и увеличения срока эксплуатации газопроводов.

Ключевые слова: газопровод, капитальный ремонт, строительство, бестраншейный метод, горизонтально направленное бурение, микротоннелирование, микроцит, трубы

Введение. Согласно постановлению правительства Российской Федерации № 87 от 16.02.2008 г. объекты капитального строительства делятся на: производственного, не производственного назначения, а также линейные объекты. В состав линейных объектов входят: трубопроводы, автомобильные дороги, линии электропередач и т.д.

Трубопроводы бывают разных видов. Например, протяженность газопроводов может превышать нескольких тысяч километров. И как на любом объекте капитального строительства на газопроводе необходимо предусматривать своевременный капитальный ремонт. В связи с большой протяженностью линейных объектов, очень часто встречаются естественные (например, водные) и искусственные преграды (автодороги, линии электропередач).

Подводные переходы через водные преграды являются ответственными и дорогостоящими сооружениями, и Заказчик стоит перед выбором применения технологии производства строительно-монтажных работ. Выделяется два главных критерия – стоимость работ и качество, которое получится после проведения капитального ремонта, реконструкции или капитального строительства объекта.

В настоящее время около 80% всех аварийных ситуаций на магистральных газопроводах возникает в результате размыва грунта вокруг труб на подводных переходах и образования оголенных участков газопровода, подвергающихся силовому воздействию потока и лишь 20% – приходится на коррозию и механические повреждения, не выявленные в процессе строительства.

Поэтому для магистрального транспорта проблемы обеспечения эксплуатационной надежности подводных переходов имеют особую актуальность, так как отказы и аварии на них по своим экономическим и экологическим последствиям значительно превосходят аналогичные на суше. В то же время существует тенденция к повышению вероятности отказов переходов и увеличению объемов ремонтно-восстановительных работ, что связано с достижением значительной части подводных газопроводов возраста более 30 лет.

Основное содержание. Для прокладки магистральных трубопроводов под водными препятствиями как один из инновационных методов используется «Метод кривых», который представляет собой симбиоз бестраншейных технологий горизонтально направленного

бурения и микротоннелирования с применением предварительно изогнутых стальных труб при бестраншейном способе укладки трубопроводов (Рис. 1).

Суть метода состоит в использовании «кривых» труб, что позволяет значительно уменьшить радиус изгиба прокладываемой плети газопровода. Радиус естественного изгиба трубы, в зоне упругой деформации, считается равным 1200 диаметру трубы. Например, труба Ø1220 мм – радиус изгиба равен $1200 \times 1220 \text{ мм} = 1464 \text{ м}$. Если мы составим трубопровод из 3-х градусных кривых того же диаметра, то мы получим радиус изгиба плети всего 222 м. Таким образом, при строительстве подводных переходов используя трубы, изогнутые относительно продольной оси на 3° , длина перехода газопровода сокращается в 6,7 раз. Соответственно, это благоприятно скажется на строительстве, значительно снижаются затраты на материалы, трудозатраты, сроки выполнения работ.

Отличительной особенностью новой технологии бестраншейного способа прокладки является одновременное бурение скважины и монтаж в пробуренный участок нового газопровода. Бурение осуществляет микрощит MTS-1000, и по мере его перемещения происходит прокладка рабочей трубы. Установка PPP-400 перемещает очередную предварительно изогнутую трубу по роликам головной и хвостовой опорной рамы. Затем на раме устанавливается следующая труба, после чего осуществляется стыковка и сварка стыка. На завершающем этапе производится наращивание коммуникаций системы гидротранспорта, силовых и информационных кабелей.



Рисунок 1- Прокладка магистрального трубопровода под водным препятствием с использованием «Метода кривых»

Принципиальным отличием технологии «Метода кривых» от других бестраншейных способов прокладки является то, что трубопровод, составленный из предварительно изогнутых стальных труб, представляет собой жесткую арочную вогнутую конструкцию, которая никогда не провалится и не всплывет, то есть отпадает необходимость использовать гидропригрузы, и может быть заглублена на русловом участке практически на любую глубину, исключая последующие внешние воздействия на подводный трубопровод любых прогнозируемых деформаций русла и берегов. Новая технология строительства предусматривает сокращение размеров и объемов стройплощадок (20x50 м), количества применяемых материалов (снижение расхода бентонита в 100 раз) и оборудования, в сравнении с методами ГНБ и микротоннелирования (исключается строительство приемного котлована, амбара для бентонита, площадок для сварки трубопровода и т.д.).

Отличительной чертой этого оборудования является также возможность укладывать стальные трубопроводы без использования предварительно изогнутых стальных труб (по радиусу естественного изгиба), что дает возможность выполнять подводные переходы большей протяженности. Для буровой головы микрощита MTS-1000 запланирована

модернизация, которая в перспективе позволит прокладывать переходы длиной до 1500 м. Известно об успешном выполнении пяти переходов: три из которых с предварительно изогнутых стальных труб, а два из прямых труб.

Экологичность:

- в ходе строительства трубопровода минимальное воздействие на экологию, при котором не потребуются восстановление дна водоема или русла реки, как при открытой укладке трубопровода в европейской части этот процесс может занять более 50 лет, а в северных широтах более 70 лет;
- небольшие сроки строительства и незначительное количество техники, привлекаемое к работе, в итоге уменьшается количество вредных выбросов и шумовое воздействие на окружающую среду;
- в данной технологии строительства нет необходимости в какой-либо утилизации бентонита и полимеров;
- вода, используемая при строительстве, имеет закрытый цикл, в следствии не потребуется забор с водоема и других необходимых технологических операций, и затрат.

Надежность:

- сооруженный переход будет иметь арочную конструкцию. Такая жесткая конструкция перехода гарантирует, что трубопровод никогда не «всплывет» или не «провалится» в процессе эксплуатации. В данном случае эксплуатация такого перехода будет такой, как и у линейной части трубопровода.
- «парабола», составленная из предварительно изогнутых труб, будет работать в качестве компенсатора при линейных расширениях и изменении рельефа. А глубокая прокладка перехода от поверхности позволит не опасаться сезонных колебаний температуры и влияние паводка на трубопровод.

Технологичность:

- высокая степень механизации технологии строительства, минимальное количество техники и оборудования, требующихся при выполнении основных и вспомогательных операций, отсутствие компонентов в технологическом цикле массой более 18 т. и большими габаритами, отсутствие необходимости устройства подъездных путей и строительной площадки с твердым покрытием.

Точность строительства перехода:

- данный метод позволяет осуществить прокладку трубопровода в точности с заданной проектной трассой, используя системы локации, основу которой составляют гироскопы, не подверженные электромагнитному воздействию.

Универсальность метода:

- возможность строительства перехода в практически в любых грунтовых условиях, от несвязанных грунтов до скальных пород, за счет подбора соответствующего режущего инструмента, используемого в конструкции микрошита.

Стоимость работ:

- стоимость реализации перехода намного меньше, чем у других известных способов строительства переходов.

Сроки выполнения работ:

- строительство перехода «Методом кривых» значительно меньше по срокам других методов, что сокращает различные затраты, а также позволит ввести в эксплуатацию данный переход в более ранние сроки.

Для систем электрохимической защиты трубопроводов от коррозии и оборудования контроля целостности газотранспортной системы существуют разработанные решения с применением композитных анодных заземлителей. Универсальное решение компенсационных мероприятий по защите газопроводов от коррозии – прокладка протяженного анодного заземлителя методом горизонтально-направленного бурения.

Применение симбиоза данного решения и строительства газопровода «Методом кривых» позволит полностью защитить трубопровод от коррозии.

Метод горизонтально-направленного бурения в этом случае эффективно заменяет традиционную прокладку протяженных анодных заземлителей в открытой траншее и позволяет их совместное применение с «Методом кривых», а также обеспечивает ремонтпригодность протяженных анодных заземлителей.

Выполняется расчет траектории и глубины бурения. В пробуренной скважине прокладывается токопроводящая полимерная труба, в которую протягивается изготовленный на основании расчетов протяженный анодный заземлитель, свободное пространство между трубой и анодным заземлителем заполняется токопроводящим гелем. Монтируются средства электрохимической защиты с подсистемой коррозионного мониторинга (ПКМ.ПВЕК) для коррозионно-опасного участка (Рис. 2).

В случае необходимости ремонта протяженного анодного заземлителя гибкий электрод извлекается из полимерной токопроводящей трубы и заменяется новым.

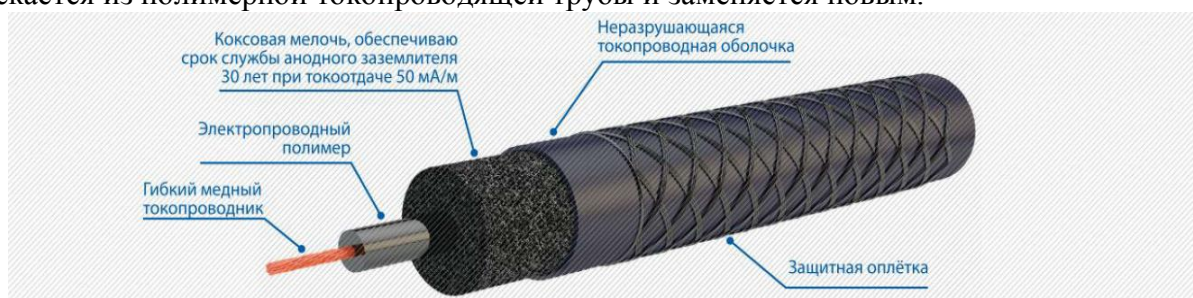


Рисунок 2 – Конструкция гибкого протяженного электрода анодного заземления типа ПВЕК

Этот метод защиты газопровода позволит:

- обеспечит 100%-ю защищенность газопровода;
- на порядок сократить возможность аварийные ситуации, связанные с коррозией газопровода, тем самым снизить непредвиденные расходы на ремонт и минимизировать возможный ущерб окружающей среде;
- обеспечить бесперебойный мониторинг за состоянием газопровода;
- оптимизировать режимы работы системы катодной защиты ПВЭК.

В 2014 г. инженерами ООО «БТ-СВАП» было разработано инновационное покрытие ЗУБ-Композит для защиты труб и трубодеталей от разнонаправленных нагрузок, различных механических и других воздействий (Рис. 3). Данное покрытие позволяет эффективно защитить антикоррозионное покрытие стальных труб, трубодеталей и стыковых соединений на этапах транспортировки, строительно-монтажных работ и в течение всей эксплуатации.

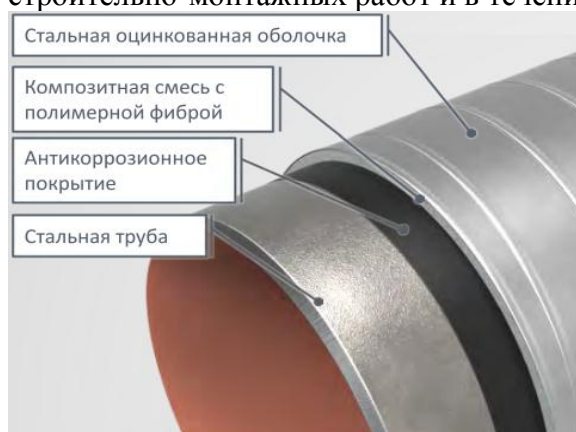


Рисунок 3 - Иновационное покрытие ЗУБ-Композит для защиты труб и трубодеталей

Также на сегодняшний день производятся трубы с защитным покрытием и предусмотренным катодным выводом для систем катодной защиты, и кабельными системами для мониторинга за состоянием будущего газопровода на протяжении всего срока эксплуатации.

Применение таких защитных покрытий на трубах в сочетании с применением «Метода кривых» для прокладки трубопроводов позволяет отказаться от строительства резервной нити газопровода в виду высокой надежности строительства, в случае если возможна подача газа в газопровод из другого газопровода или система кольцевая.

Заключение.

Перечисленные преимущества наглядно демонстрируют целесообразность применения «Метода кривых» при строительстве переходов газопроводов, через различные преграды. Востребованность в применении данного метода строительства значительна, так как проектируются и строятся газопроводы различного давления и диаметра, а давно введенные в эксплуатацию переходы на магистральных газопроводах требуют капитального ремонта.

Известно о применении «Метода кривых» для строительства газопроводов Ø 1220 мм с микрошитом MTS-1000 фирмы-изготовителя «MTS Perforator» (Germany), но другие известные фирмы-изготовители «Herrenkrecht AG» (Germany), LOVAT (Canada), Mitsubishi (Japan), предлагают и производят установки диаметром от 200 мм до 14 м. При дальнейшем развитии технологий строительства и разработке новых материалов возникает возможность применения «Метода кривых» с использованием предварительно изогнутых труб и для других диаметров газопровода.

Список литературы

1. Строительство подводных переходов трубопроводов бестраншейным способом: СТН-51-4-92. Строительно-технологические нормы. – 1992. – Введ. 1993-01-01. – М.: ИФ "МАГМА", 1993. – 39 с.
2. Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб: СП 42-102-2004. – Введ. 2004-05-27. – М.: ЗАО "Полимергаз", 2004. – 38 с.
3. Строительство подводных переходов газопроводов способом направленного бурения: ВН. – Введ. 1998-08.01. – Дата актуализации 2019-01-01. - М.: Ротапринт ИРЦ «Газпром», 1998. – 86 с.
4. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство) / П.П. Бородавкин. – М.: Недра, 1982. – 384 с.
5. Орлов В.А. Технологии бестраншейной прокладки и ремонта трубопроводов. – М.: МГСУ, 2012. – 210 с.
6. Селезнев Г.А. Метод кривых. Использование предварительно изогнутых труб при строительстве и ремонте подводных переходов бестраншейным методом / Г.А. Селезнев // Территория нефтегаз. – М.: Камелот Паблишинг, 2013.- № 11. – С. 90-91.
7. Селезнев Г.А. Метод кривых. Использование предварительно изогнутых труб при строительстве и ремонте подводных переходов бестраншейным методом / Г.А. Селезнев, И.Н. Шульга // Техника и технологии мира. - Челябинск: МАС ГНБ, 2016. – С.29-34.
8. Настенка В.В. "Метод кривых" - новое решение в бестраншейном строительстве трубопроводов / В.В. Настенка, П.А. Колотовский // Газовая промышленность. – М.: Камелот Паблишинг, 2017. – Спецвыпуск № 2 (754). – С. 28-30.
9. Официальный сайт компании ООО «Подзембурстрой» (Электронный ресурс). – URL: <http://podzembur.ru>.
10. Блог о ГНБ и бестраншейных технологиях [Электронный ресурс]. – URL: <http://гнб-блог.com.ua/2013/10/metod-krivyyh.html>.

УДК 628.541

Алексеев Виталий Валерьевич,
студент кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов;
Балинченко Оксана Иосифовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА Г. ДОНЕЦКА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В данной статье высказано обоснование попытки использования нетрадиционных водных ресурсов г. Донецка в качестве дополнительного источника технического водоснабжения. Проанализировано природное состояние Водохранилища №2, находящегося в центре г. Донецка, постепенно проходящее в запустение ввиду отсутствия к нему интереса водопользователей. Отмечены перспективы использования этого водоисточника, способные послужить не только водопользователям, а и водным обитателям этого источника.

Ключевые слова: водопользование, нетрадиционные водные ресурсы, степень загрязнения, рекреативные цели

В настоящее время в ДНР имеется огромный дефицит воды, причем технической – не меньшего уровня, чем питьевой, что весьма закономерно для колоссального промышленного комплекса Донецкого региона, каким он остается сейчас и будет всегда. Поэтому пора пересмотреть все возможные источники водных ресурсов, даже те, которые совсем недавно можно было бы игнорировать по причине малой пригодности, оставив им роль, например, украшения ландшафта или увлажнителя городского воздуха. Хотя и эта функция бесполезна.

Водоохранилище №2 находится на территории Центра г. Донецка и является одним из звеньев нескольких водохранилищ, образованных из притока р. Кальмиус в соответствии с рисунком 1. Эти водоемы (№1 и №2) существуют в основном в роли естественных отстойников.

В настоящее время санитарно-эпидемиологической станцией Ворошиловского района г. Донецка зафиксировано несоответствие воды Водохранилища №2 нормам СанПиН [4, Прил. 1] по некоторым показателям качества.

В нем запрещено купание, рыба, по свидетельству рыболовов-любителей, непригодна даже для угощения кошек. Водоохранилище начало интенсивно зарастать камышом и осокой, заиливаться и приходить в упадок из-за отсутствия к нему интереса со стороны ответственных лиц. Использование этого водохранилища не представляется возможным ни в хозяйственно-питьевых, ни в рекреативных целях. Поэтому на данный момент оно может вызвать интерес лишь в качестве хозяйственно-технического источника. Рассмотрим перспективы.

В таблице 1 приведен химический состав воды данного водохранилища №2 (таблица 1) из проб, отбираемых регулярно в каждое время года, контроль отбора производится Главным врачом Сан-эпид-станции Ворошиловского района. Произведем оценочный анализ по пригодности использования такой воды в промышленных целях, ориентируясь, прежде всего, на «превышено».

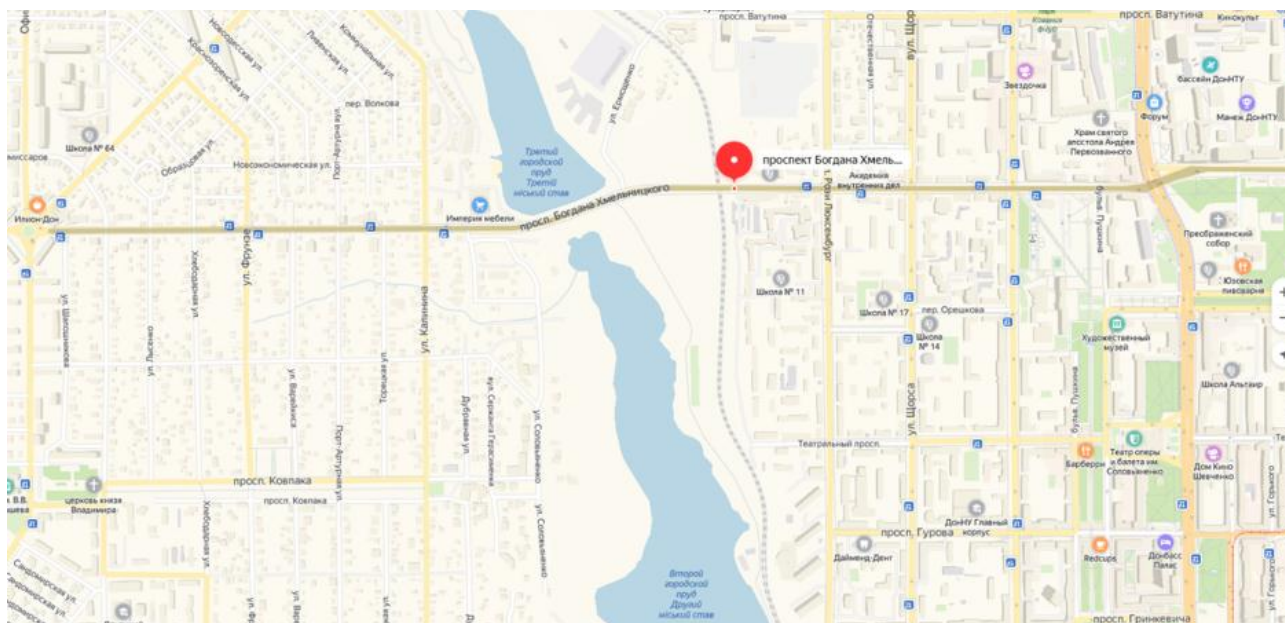


Рисунок 1 - Местоположение Водохранилищ №1 и №2 на карте города Донецка.

Таблица 1 - Химический состав качества воды Донецкого водохранилища №2 (2019 г.)

Показатели качества	Ед. измерения	Полученные данные			Норма СанПиН № 4630–88	Заключение
		18.04.19	09.06.19	16.08.19		
Запах	Баллы	2	2	2	1	Превышено
Прозрачность	См.	22	15,0	14	20-10	
Цветность	град.	30	36,0	36	Не кон*.	
Взвешенные вещества	Мг/дм ³	25	29,0	48	Не кон.	
pH	Ед. рН	8,25	8,12	8,22	6,5 – 8,5	
БПК-5	МгО ₂ /дм ³	57,8	7,6	9,9	Не кон.	
Растворенный кислород	Мг/дм ³	4,8	5,8	4,8	4	
Окисляемость	МгО ₂ /дм ³	8,0	10,2	13,2	Не кон.	Много орган.
Общая Жесткость	Ммоль/дм ³	12,3	12,0	11,0	Не кон.	Большая жест.
Сухой остаток	Мг/дм ³	1687,0	1692,0	1702,0	1000	Превышено
Хлориды	Мг/дм ³	135,0	140	144,0	350	
Сульфаты	Мг/дм ³	667,0	682,6	676,5	500	Превышено
Железо	Мг/дм ³	0,28	0,13	0,28	0,3	
Аммиак	Мг/дм ³	0,51	0,52	0,92	2	
Нитритов	Мг/дм ³	0,038	0,058	0,070	3,3	
Нитратов	Мг/дм ³	3,0	2,9	3,0	45	
Фтор	Мг/дм ³	0,24	0,25	0,23	Не кон.	
СПАВ	Мг/дм ³	0,11	0,1	0,13	Не кон.	
Нефтепродукты	Мг/дм ³	0,6	0,7	0,8	Не кон.	
Фенолы	Мг/дм ³	0,002	0,001	0,004	0,001	Превышено

Примечание. Не кон* - не контролируется.

Итак, по химическому составу воды показатель «запах» превышен, что затрудняет использование такой воды для моек любого рода, за исключением с применением мощных моющих средств. «Прозрачность» воды весьма удовлетворительна, опять же, для тех же целей, например, автомоек.

Высокие «цветность» и «окисляемость» (по сравнению с пределом для питьевой воды – 20°) и «окисляемость» (обычно в питьевой воде не более 6 мгО₂/л) говорят о серьезном наличии органики, требующей предварительную очистку такой воды на сооружениях типа микрофильтров, прежде чем пускать такую воду в технологические циклы, например, охлаждения. Хотя «растворенного кислорода» вполне достаточно, что говорит об отсутствии процессов загнивания воды.

Также высокие значения «жесткости» (по сравнению с питьевой водой) при щелочном значении водородного показателя обещают в оборотных циклах охлаждения значительные карбонатные отложения. Такую воду нельзя использовать без умягчения, значительно удорожающего процесс охлаждения теплообменной аппаратуры.

Таким образом из перспектив использования запасов воды из Водохранилища №2 остаются только процессы промышленной обмывки и первичного увлажнения территорий производств, например, рудообогащения (рядом находится ДМЗ). Что и рекомендуется.

Кроме этих рекомендаций, следует определить гигиеническую классификацию Водохранилища №2 по степени загрязнения (таблица 2 из рассмотренного ранее СанПиН [4]).

Таблица 2 - Гигиеническая классификация водных объектов по степени загрязнения [1]

Степень загрязнения	Оценочные показатели загрязнения для водных объектов I и II категории						Индекс загрязне- ния	
	Органолепти- ческий		Токси- кологи- ческий	санитарный режим		бактери ологи- ческий		
	запах, привкус (баллы)	ПДК орг. (степень превы- шения)	ПДК токс. (сте- пень превы- шения)	ВПК ₂₀ мг/дм ³		раство- ренный кисло- род мг/дм ³		число лактозоположит ельных кишечных палочек в 1 дм ³
				I	II			
Допустимая	2	1	1	3	6	4	менее 1·10 ⁴	0
Умеренная	3	4	3	6	8	3	1·10 ⁴ –1·10 ⁵	1
Высокая	4	8	10	8	10	2	1·10 ⁵ –1·10 ⁶	2
Чрезвычайно высокая	>4	>8	100	>8	>10	1	Более 1·10 ⁶	3

Следует рекомендовать уполномоченным СЭС провести соответствующие анализы и разработать план восстановительных мероприятий, постепенно приводящих этот водоем к полноправной второй категории водопользования на благо его водопотребителей и водных обитателей [1-3].

Выводы

В условиях крайнего дефицита водных ресурсов в Донецком регионе имеет значение использование нетрадиционных источников водоснабжения, не особенно выгодных, но позволяющих в трудный экономический период сэкономить более качественные ресурсы.

Использование нетрадиционных источников водоснабжения следует производить таким образом, чтоб привлечь к ним природоохранный интерес, постепенно восстанавливая их экологию.

Список литературы

1. Волкова, И. В. Оценка качества воды водоемов рыбохозяйственного назначения :учебное пособие для вузов / И. В. Волкова, Т. С. Ершова, С. В. Шипулин. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 353 с. — (Серия: Университеты России). — ISBN 978-5-534-03415-8. -[Электронный ресурс]. URL: <https://biblio-online.ru/book/0E2FED64-8661-4B03-A23C-C483376E0EF4>____(Дата обращения 24.00.2019).
2. Гусейнова, М. Б. Минимизация негативного воздействия деятельности промышленных предприятий на водные объекты [Электронный ресурс] / М. Б. Гусейнова // Право и экология: материалы VIII Международной школы-практикума молодых ученых-юристов (Москва, 23-24 мая 2013 г.) / Отв. ред. Ю. А. Тихомиров, С. А. Боголюбов. - М.: ИЗиСП: ИНФРА-М, 2014. - с. 222 - 226. -[Электронный ресурс]. URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=472059> (Дата обращения 20.12.18).
3. Орлов М. С. Гидрогеоэкология городов: Учебное пособие / М.С. Орлов, К.Е. Питьева. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 288 с.: 60х90 1/16 + (Доп. мат. znanium.com). - (Высшее образование: Магистратура). (переплет) ISBN 978-5-16-006050-7, 500 экз.- [Электронный ресурс]. URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=560162> (Дата обращения 24.00.2019).
4. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Документ утвержден: Главный государственный санитарный врач РФ от 2000-06-22. Дата введения: 01.01.2001. Заменяет: СанПиН 4630-88 Охрана поверхностных вод от загрязнения.-[Электронный ресурс]. URL: <http://snipov.net/> (Дата обращения 24.00.2019).

УДК 621.311

Савостин Иван Романович,
магистрант 2-го курса,
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Удовиченко Злата Викторовна,
к.т.н., доцент, доцент
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

В данной статье проведен анализ существующих методов сжигания газообразного топлива с использованием когенерационных установок. Показано сравнение между когенерацией и отдельным производством электричества. Дано описание газотурбинных, газопоршневых установок и микротурбинных (указаны их преимущества и недостатки). Обоснованный выбор когенерационной установки (указаны её технические характеристики), определены технико-экономические показатели предложенного проекта.

Ключевые слова: когенерационная установка, газораспределительная система, электроэнергия, тепловая энергия, энергосбережение

Система газоснабжения – это большой и сложный комплекс сооружений. Для каждого населённого пункта составляется свой план газоснабжения. На него влияет множество факторов: площадь территории, особенности местности, численность и плотность населения. Для того, чтобы выбрать оптимальный вариант газоснабжения составляется несколько планов, из которых по технико-экономическим показателям выбирается наиболее выгодный.

К основным проблемам энергетического сектора можно отнести следующее:

- постоянный рост тарифов ЖКХ;
- неэффективность использования топлива;
- кризис централизованной энергетики;
- изношенность оборудования;
- высокая частота аварий и перегруженность сетей тепло- и электроснабжения;
- проблемы подключения к сетям;
- некачественное электроснабжение.

Необходимость применения когенераторов для тепло- и энергоснабжения обусловлена низким качеством систем центрального теплоснабжения, высокими тарифами на электроэнергию и тепло. Внедрение когенерационных установок позволяет существенно снизить затраты на потребляемую энергию, а также решить проблему пиковых нагрузок, недостатков централизованных систем и тем самым обеспечить качественным, бесперебойным энергоснабжением потребителей.

Когенерацией – называют способ производства энергии, при котором из одного первичного источника на выходе энергоустановки получают два или несколько видов полезной энергии (в большей части когенерационных систем, применяемых в настоящее время, осуществляется совместное производство тепла и электричества).

Основные преимущества использования когенерационных установок:

- независимость владельца установки от тепловых сетей. При этом наличие когенерационных агрегатов позволяет разгрузить электрические сети в крупных городах, а значит снизить риск серьёзных перебоев электро- и теплоснабжения в целом;
- эффективность топливоиспользования. КПД электростанций составляет от 30 до 50% (основная часть энергии первичного топлива теряется в виде неиспользуемого тепла). КПД котельной в среднем составляет около 80%. Таким образом, полный КПД системы с

раздельным производством тепла и электричества находится в пределах 55–65%. При этом для когенерационных установок (их также называют мини-ТЭЦ или когенераторами), где наряду с генерацией электрической энергии осуществляется утилизация тепла, полный КПД может достигать 90%;

- сравнительная дешевизна топлива. Отличительная черта собственной мини-ТЭЦ - возможность использования как природного газа, так и других газообразных топлив, характеристики которых различаются в весьма широком диапазоне. Современный уровень развития технологии позволяет выбрать подходящий тип когенерационной установки для работы на местном газообразном топливе;

- снятие многих экологических ограничений на строительство объекта. Основным преимуществом когенераторов с точки зрения экологии является то, что повышенная эффективность использования первичного топлива в когенераторах позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу в 2–3 раза по сравнению с использованием традиционных энерготехнологий, основанных на раздельном производстве тепла и электричества.

Главным фактором, заставляющим переходить на альтернативные средства снабжения теплом и электроэнергией, является изношенность тепло- и электросетей, а также низкое качество электроэнергии. Этой альтернативой стали когенерационные установки малой мощности, так называемые мини-ТЭЦ, способные обеспечить тепловой и электрической энергией отдельные здания или предприятия.

КПД электростанций составляет от 30 до 50% (остальная часть энергии первичного топлива теряется в виде неиспользуемого тепла). КПД котельной в среднем составляет около 80%. Таким образом, полный КПД системы с раздельным производством тепла и электричества находится в пределах 55–65%. При этом для когенерационных установок, где наряду с генерацией электрической энергии осуществляется утилизация тепла, полный КПД может достигать 90%. Соотношение теплового и электрического когенерационных установок составляет 1:1,2–1,6. Сравнение между когенерацией и раздельным производством электричества и тепла приводится ниже, основанное на типичных значениях КПД в соответствии с рисунком 1, 2.

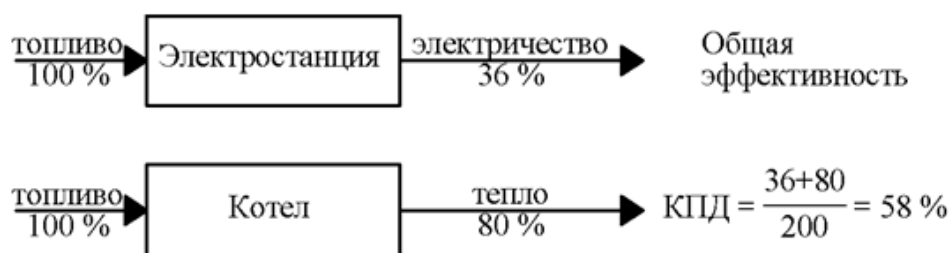


Рисунок 1 - Общая эффективность раздельного производства энергии

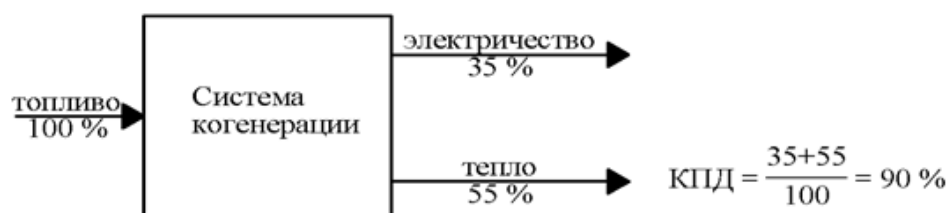


Рисунок 2 - Эффективность когенерационного производства

Различают когенерационные системы на базе газотурбинных, газопоршневых установок и микротурбин. Реже используются двигатели, работающие на дизельном топливе. Ещё одним

критерием классификации может служить вид топлива. Дело в том, что происхождение газа бывает разным. Среди прочих особо перспективными считаются шахтный метан, биогаз и свалочный газ.

Правильно выбранная КГУ малой мощности является экономически эффективной, потому что в данный момент произведённая на месте электроэнергия дешевле, чем закупаемая от распределительных сетей. Не исключена и ситуация, когда при расширении рынка электроэнергии и увеличении числа поставщиков электроэнергии произведённая на месте электроэнергия становится дороже закупаемой.

Для определения экономической выгоды использования когенерационных установок малой мощности следует определить часы полного использования мощности.

В данной статье для частной застройки были подобраны когенерационные установки AKSA ABG8. Характеристики данной установки приведены в таблице 1.

Таблица 1 Технические характеристики когенерационной установки AKSAABG8

Тепловая мощность	8 кВт
Электрическая мощность	3 кВт
Потребление топлива при 100% нагрузке	3,3 м ³ /ч
Тип двигателя	Briggs Stratton (США)
Частота вращения	Газопоршневой, V-образный, 2-х цилиндрические

Электроэнергия вырабатывает круглосуточно целый год и рассчитывается как количество часов в году

$$h_{\text{год}}^{\text{э.э.}} = 8760 \text{ ч/год.}$$

Тепловая мощность вырабатывается в течение отопительного и переходного периодов. Количество дней в году с выработкой тепловой мощности $n=176$ сут.

$$h_{\text{год}}^{\text{т.э.}} = n \cdot 24 = 176 \cdot 24 = 4224 \text{ ч/год.} \quad (1)$$

Далее произведен расчет капиталовложений в выбранную систему когенерации. Установка AKSA ABG 8 имеет рыночную стоимость 182 590 рублей. Подключение установки следует принимать как 5% от стоимости установки. Также следует принять во внимание стоимость вспомогательных устройств и системы регулирования, принимаемая как 7% от стоимости установки.

Итого капиталовложения в выбранную систему когенерации составляет

$$K = S_{\text{уст.}} + S_{\text{подкл.}} + S_{\text{всп.}} = 204500,8 \text{ руб.} \quad (2)$$

Для обоснования финансовой составляющей проекта рассчитаем годовую выплату по кредиту на систему когенерации.

Для покрытия кредита $K=204\,500,8$ рублей с процентной ставкой $e=14\%$ годовой возврат будет равен $E_{\text{кред.}}=39\,205,57$ руб./год.

Годовые расходы на топливо (ф-ла 3). Расход топлива установкой в час при 100%-ой нагрузке равен $I=3,3$ м³/ч. Коэффициент полезного действия производства электроэнергии - 19%. Коэффициент полезного действия производства тепловой энергии - 75%. Цена топлива в районе строительства $s = 2618,4$ рублей на 1000 м³.

$$E_{\text{топ}} = 1 \cdot h_{\text{год}}^{\text{э.э.}} \cdot s = 56769,53 \text{ руб./год} \quad (3)$$

Сумма эксплуатационных расходов в год составят

$$E_{\text{экспл}} = \frac{P_{\text{эл.}} \cdot h_{\text{год}}^{\text{э.э.}} \cdot e_{\text{экспл.}}}{1000} + E_{\text{кред}} + E_{\text{топ}} = 151163,1 \text{ руб. год,} \quad (4)$$

где $P_{\text{эл.}}$ – установленная мощность когенерационной установки по электроэнергии (1 кВт);

$e_{\text{экспл}}$ – эксплуатационные расходы (2100 руб./МВт эл.ч).

Себестоимость электроэнергии:

$$S_{э.э.} = \frac{(E_{\text{экспл}} + P_{э.э.} \cdot T_{э.э.})}{P_{э.э.}} = 20723,05 \left(\frac{\text{руб}}{\text{МВт} \cdot \text{эл}} \right) \cdot \text{ч}, \quad (5)$$

где $P_{э.э.}$ – произведенная в год электроэнергия (ф-ла 6)

$$P_{э.э.} = p_{эл.} \cdot \frac{h_{\text{год}}^{э.э.}}{1000} = 26,28 \text{ МВт} \cdot \left(\frac{\text{ч}}{\text{год}} \right), \quad (6)$$

$p_{эл.}$ – установленная электрическая мощность установки;

$T_{э.э.}$ – тариф продажи/ замещения электроэнергии в данном регионе (3467 руб./МВт·ч).

Себестоимость тепловой энергии

$$S_{т.э.} = \frac{(E_{\text{экспл.}} + P_{т.э.} \cdot T_{т.э.})}{P_{т.э.}} = 8086,33 \left(\frac{\text{руб}}{\text{МВт} \cdot \text{эл}} \right) \cdot \text{ч}, \quad (7)$$

где $P_{т.э.}$ – произведенная в год тепловая энергия

$$P_{т.э.} = p_{т.э.} \cdot \frac{h_{\text{год}}^{т.э.}}{1000} = 33,792 \text{ МВт} \cdot \left(\frac{\text{ч}}{\text{год}} \right), \quad (8)$$

$p_{т.э.}$ – установленная тепловая мощность установки;

$T_{т.э.}$ – тариф продажи/ замещения тепловой энергии в данном регионе (2878 руб./МВт·ч).

Доходы от продажи/замещения электроэнергии

$$N_{э.э.} = P_{э.э.} \cdot T_{э.э.} = 91112,76 \text{ руб./год}. \quad (9)$$

Доходы от продажи/замещения тепловой энергии:

$$N_{т.э.} = P_{т.э.} \cdot T_{т.э.} = 97253,376 \text{ руб./год}. \quad (10)$$

Чистый доход от производства энергии равен сумме доходов от продажи электрической и тепловой энергии когенерационной установки:

$$N_{\text{общ.}} = N_{э.э.} + N_{т.э.} = 188366,136 \text{ руб./год}. \quad (11)$$

Экономическая выгода проекта рассчитывается как разность чистого дохода и суммы годовых эксплуатационных расходов:

$$A = N_{\text{общ.}} - E_{\text{экспл}} = 37203,036 \text{ руб.} \quad (12)$$

Срок окупаемости проекта определяется как частное капиталовложений и экономического выгоды проекта:

$$N_{\text{окуп.}} = \frac{K}{A} = 5,49 \text{ лет}. \quad (13)$$

В статье проанализированы и классифицированы основные проблемы энергетического сектора. Расшифровано понятие когенерации, указаны ее преимущества и недостатки. Показано сравнение между когенерацией и раздельным производством электричества. На основании проведенного анализа определена эффективность применения предложенной когенерационной установки с указанием срока окупаемости проекта.

Список литературы

1. Гольянов А.И. Газовые сети и газохранилища: монография. – Уфа: "Монография", 2004. - 302 с.
2. Карякин Е.А. Промышленное и газовое оборудование: справочник. Издание 5-е, переработанное и дополненное. - М.: Типография "Новости", 2004. – 977 с.
3. Когенерация и когенераторные установки. Сайт ИРП инжиниринговой компании "Новая Генерация". Режим доступа: URL: <http://www.manbw.ru/analytics/cogeneration2.html>.
4. Газораспределительные системы: СП 62.13330.2011*. - М.: Госстрой, 2014. - 66 с.

5. Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления. Утвержден постановлением Правительства РФ от 29.10.2010 г. №870 (с изм. 14.12.2018 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902243701>.

УДК 697.1

Селютина Татьяна Валериевна,
магистрантка кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Долгов Николай Викторович,
к.т.н., доцент кафедры
теплотехники, теплогазоснабжения и
вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Проведен анализ исследований ведущих ученых с целью определения рациональной методики расчета регулирующей арматуры при изменении нагрузки систем отопления в течение суток для различных видов потребителей тепловой энергии, в частности для потребителей жилых и общественных зданий.

Ключевые слова: Автоматический режим, отопление, гидравлический режим, микроклимат, циркуляционное давление

В современных системах отопления применяется различного вида регулирующая арматура, которая обеспечивает переменный теплогидравлический режим работы системы для поддержания комфортных условий в отапливаемом помещении на протяжении отопительного сезона, и, одновременно, экономного потребления тепловой и электрической энергии. В результате воздействия автоматических регуляторов и заведомо низкого значения расхода в системе, режим течения теплоносителя в системе выходит за границы турбулентного режима, принимаемого при традиционном расчёте. Это ставит под сомнение точность традиционного подхода к расчёту таких систем. Кроме того, отсутствует методика выбора необходимого набора регуляторов в системе отопления и их типоразмера. Эти проблемы не разрешены как в отечественной, так и в зарубежной практике, а также не отражены в нормативной документации.

Результаты исследований в данной области показывают, что в современных системах отопления наблюдается не постоянный гидравлический режим, который приводит к нестабильной работе системы отопления, а это является серьезной проблемой.

Цель. Оценка особенности тепло-гидравлического режима работы системы отопления с автоматическим регулированием, влияющей на качество работы системы.

Основным предназначением систем отопления является поддержание требуемых комфортных условий для пребывания человека в отапливаемых помещениях здания на протяжении всего отопительного сезона, а также обеспечение экономичности системы, которая достигается путём исключения или сокращения бесполезных финансовых и энергетических затрат.

Конструкция современной системы отопления предполагает наличие различного вида оборудования, причём каждый элемент решает свою индивидуальную задачу. Но невозможно полностью исключить и взаимное влияние этих элементов. Даже, если каждый элемент обеспечивает высокую энергоэффективность [1, 2], это не означает, что вся система в целом будет работать эффективно. При некорректном выборе оборудования оно может стать «балластом» в процессе эксплуатации, тем самым уменьшая эффективность работы отопительной системы. Вопрос выбора оборудования полностью возлагается на проектировщиков, однако, неправильный монтаж, наладка и эксплуатация сложных устройств также может стать причиной выхода его из строя или неэффективной работы всей системы [3]. Поэтому важно на стадии проекта грамотно выбирать тип и место установки

оборудования, при монтаже и первоначальной наладке соблюдать все требования инструкций и проекта, а в процессе эксплуатации вовремя производить ремонтные работы на высоком требуемом уровне.

Включение систем автоматизации в конструкцию современной системы отопления и теплового пункта позволяет автоматически контролировать параметры микроклимата в помещении и теплоносителя в системе отопления и на её участках, а также обеспечивать учёт потребляемой системой тепловой энергии. Все эти мероприятия призваны повышать энергетическую эффективность системы и регулировать режим её работы. Однако повышенные капитальные и возможные эксплуатационные затраты могут превзойти экономический эффект от сокращения теплопотребления системы отопления. Таким образом, применение того или иного оборудования должно быть экономически обосновано.

В современных системах отопления все чаще стали использоваться системы автоматического регулирования, которые в той или иной мере призваны улучшить показатели работы систем. В первую очередь, установка новых образцов оборудования связана с европеизацией рынка подобных устройств [4]. Регулирующие краны двойной регулировки заменяются так называемыми термостатическими клапанами (рисунок 1) с повышенным гидравлическим сопротивлением, а краны трёхходовые и проходные на аналогичные термостатические клапаны с пониженным гидравлическим сопротивлением.

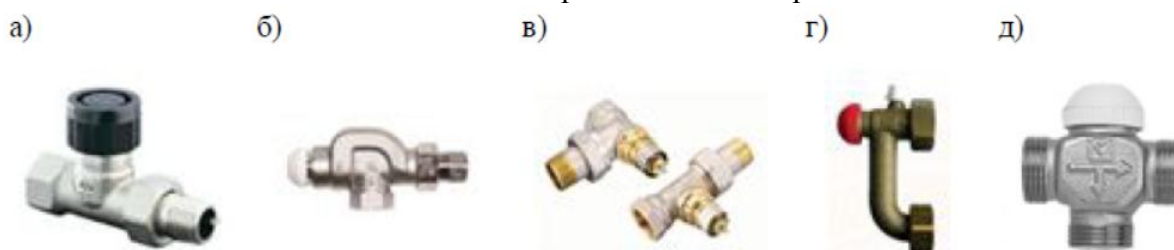


Рисунок 1 — Термостатические клапаны для систем отопления:

а — двухходовой с плавной открытой преднастройкой проходной для двухтрубных систем; б — двухходовой без преднастройки угловой для однетрубных систем; в — двухходовый с плавной открытой преднастройкой угловой и проходной для двухтрубных систем; г — двухходовой без преднастройки специальной конструкции с воздухоотводчиком для двухтрубных систем отопления; д — трёхходовый с плавной открытой преднастройкой для однетрубных систем

Клапаны устанавливаются как правило на подводке к отопительному прибору, либо встраиваются непосредственно в конструкцию отопительного прибора.

Термостатические клапаны можно классифицировать: по количеству направления ходов теплоносителя; по типу предварительной настройки; по изменению направления потока теплоносителя; по возможности использования в различных видах систем отопления; по месту установки.

Конструкция этих клапанов позволяет изменять проходное сечение за счёт изменения положения штока, либо ручным воздействием, либо с помощью термостатической головки или иного механизма. В расчёте это учитывается изменением величины проводимости клапана $\sigma_{кл}$, $\text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{Па}^{0.5})$, или, как её принято называть и обозначать в каталогах справочниках фирм-производителей, пропускной способности k_v , $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0.5}$. Именно эта характеристика используется при проектировании системы отопления, так как она позволяет определить диапазон количественного регулирования теплоотдачи отопительного прибора и степень воздействия на гидравлический режим работы системы отопления в целом.

Пропускную способность любого элемента системы отопления k_v , $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0.5}$, обычно определяют по формуле:

$$k_v = G \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta P}} \quad (1)$$

где, G - объёмный расход теплоносителя через элемент системы отопления, м³/ч;

ρ - плотность теплоносителя, кг/м³;

ΔP - разница давления на элементе, бар.

Для упрощения расчётов в [5] приведена следующая формула расчёта пропускной способности k_v , (м³/ч)/бар^{0,5}:

$$k_v = 0,316 \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} \quad (2)$$

где G - массовый расход теплоносителя через элемент системы отопления, кг/ч;

ΔP - потеря давления в элементе, Па.

Формула (2) является преобразованной формулой (1), причём плотность теплоносителя принимается 1000 кг/м³, что не совсем точно отражает физическую сущность работы систем водяного отопления, где плотность подаваемого теплоносителя при расчётной температуре (95 °С) достигает значения 970 кг/м³.

В [6] приведён ряд преобразований формулы по расчёту пропускной способности. При расчёте системы отопления по методу характеристик сопротивления [47] удобно использовать формулу для определения характеристики сопротивления регулирующего элемента $S_{кл}$, Па/(кг/ч)²:

$$S_{кл} = \frac{10^5}{\rho^2 k_v^2} \quad (3)$$

а пропускную способность регулятора $\sigma_{кл}$, кг/(ч·Па^{0,5}), можно определить, исходя из следующей формулы:

$$\sigma_{кл} = \frac{1}{\sqrt{S_{кл}}} \quad (4)$$

Обычно, расчёт пропускной способности клапана игнорируется, и клапан подбирается только по диаметру подводящих теплопроводов, что приводит к ошибкам и снижению качества эксплуатации системы, а также к образованию избыточного шума. Важно отметить, что пропускную способность полностью открытого клапана принято обозначать k_{vs} , (м³/ч)/бар^{0,5}.

Вывод. Характеристика регулирования клапана определяется в процессе выбора типа отопительного прибора и проверяется на стадии расчёта гидравлического режима работы системы отопления в эксплуатационном режиме. Не правильный их подбор приводит к недостаточному или чрезмерному сопротивлению данных узлов, а это будит приводить к некорректной работе системы отопления

Список литературы

1. ГОСТ Р 51380-99. Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям [Текст] — М.: ВНИИСтандарт, 2000. — 6 с.
2. Наумов А.Л. Маркировка энергоэффективности инженерного оборудования как основной инструмент энергосбережения [Текст] / А.Л. Наумов // Энергосбережение. — 2010. — № 3. — С. 4—8.
3. Филипов А.М. Ошибки при внедрении автоматизированных узлов управления систем отопления в Москве (2008–2009 годы) [Текст] / А.М. Филипов // Сантехника. — 2010. — № 3. — С. 52—55.
4. EN 215—A1:2006. Thermostatic radiator valves - Requirements and test methods [Текст] — EU: SIS/TK 174, 2005. — 39 с.

5. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика [Текст] / В.В. Пырков. — К.: П ДП «Такі справи», 2010. — 360 с.

6. Махов Л.М. Взаимное влияние регулирующей арматуры при автоматическом регулировании системы водяного отопления [Текст] / Л.М . Махов, С.М. Усиков // Теоретические основы теплогаснабжения и вентиляции: материалы V конференции. — М.: МГСУ, 2013. — С. 119—125.

УДК 628.313

Чернышев Геннадий Игоревич,
магистрант 2-го года обучения,
ст.кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов;
Синежук Инна Борисовна,
к.т.н., доцент кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ АЗОТА ИЗ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ИЛА МЕТОДОМ ПРЕДШЕСТВУЮЩЕЙ ДЕНИТРИФИКАЦИИ

Аннотация. Приведен анализ технологической схемы очистки сточных вод от соединений азота методом предшествующей денитрификации. Оценена зависимость степени рециркуляции иловых смесей от исходной концентрации аммонийного азота и его концентрации после нитрификации. Установлена возможность снижения общих объёмов сооружений путём введения биореакторов доочистки. На основании данного анализа были сделаны выводы о целесообразности использования предложенного метода очистки.

Ключевые слова: Предшествующая денитрификация, двухиловая система, аммонификация, нитрификация

Удаление азота из городских сточных вод необходимо из-за возможности возникновения условий для эвтрофикации водоёмов при сбросе очищенных от органических веществ стоков. Содержание азота в очищенных стоках может быть ограничено предельно допустимыми концентрациями в воде водоёма аммонийных, нитритных и нитратных форм азота [2, с.121].

Поступающие на очистку городские сточные воды обычно содержат азот в составе органических веществ и в виде неорганических аммонийных соединений. В общем случае обеспечить удаление азота можно физико-химическими и биологическими методами. Наибольшее распространение получили биологические методы, поскольку физико-химические методы сложны и требуют значительных затрат при эксплуатации. Следует заметить, что обычная биологическая очистка в аэротенках не позволяет в достаточной степени снизить концентрацию соединений азота.

Известно, что основой биологического удаления азота является денитрификация. При денитрификации происходит восстановление нитритов и нитратов до молекулярного азота, который затем выделяется в атмосферу. Кроме того, обязательным условием для денитрификации является отсутствие или дефицит в среде растворённого кислорода и присутствие доноров водорода, какими являются органические вещества [6, с.239]. Но в городских сточных водах неорганический азот присутствует практически только в виде аммонийных соединений, поэтому перед денитрификацией их необходимо окислить другим биологическим приёмом - нитрификацией. Для его осуществления необходим растворённый кислород и дефицит или отсутствие органических веществ [4, с.57]. Таким образом, удаление азота из сточных вод может быть осуществлено последовательно, следующими процессами: аммонификацией для снижения концентрации органических загрязнений; нитрификацией для образования нитратов и нитритов, и в заключении денитрификацией для восстановления азота до молекулярного состояния и последующего его удаления в атмосферу. В такой последовательности процессов потребуется перед денитрификацией в сточные воды вводить не содержащие азот органические вещества, к примеру, метанол. Такая технология является достаточно громоздкой, она требует дополнительного введения перед денитрификацией в сточные воды органики. Наибольшее распространение получила технологическая схема

удаления азота методом предшествующей денитрификации в соответствии с рисунком 1 [3, с.76].

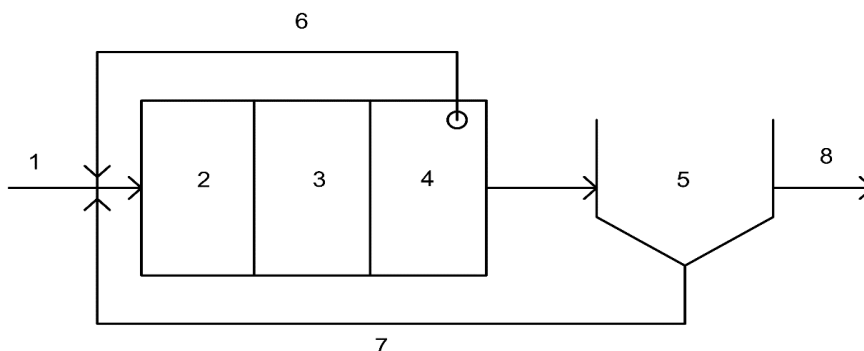


Рисунок 1 - Схема предшествующей денитрификации

1 - Подача сточных вод на очистку; 2 - Денитрификатор; 3 - Аммонификатор;
4 - Нитрификатор; 5 - Вторичный отстойник; 6 - Внутренняя рециркуляция иловой смеси из нитрификатора; 7 - Внешняя рециркуляция активного ила из вторичного отстойника; 8 - Отвод очищенных сточных вод;

Приведенная на рисунке технологическая схема не требует внешнего введения органики для денитрификации, а использует органику сточных вод. Обогащение денитрификатора нитрифицированным азотом в данной схеме осуществляется за счёт рециркуляции активного ила из вторичного отстойника (внешняя рециркуляция). Однако, для увеличения эффективности удаления азота приходится использовать и дополнительную, т.н. внутреннюю рециркуляцию иловой смеси из нитрификатора. Для достижения достаточной эффективности удаления азота требуется высокая степень рециркуляции, которая может достигать 200-500% [1, с.120]. Это может являться причиной высоких эксплуатационных затрат.

Анализ технологической схемы предшествующей денитрификации показал, что степень рециркуляции зависит от состава сточных вод и эффективности удаления азота. Степень рециркуляции при этом может быть определена из уравнения материального баланса. Для составления уравнения материального баланса необходимо знать концентрации неорганических форм соединений азота на различных ступенях технологической схемы. При анализе принято, что концентрации аммонийного азота и нитратов в очищенных сточных водах соответствовали предельно допустимым концентрациям этих соединений в водоёме. В виду низкого содержания нитритов после нитрификации [1, с.120] их концентрации в анализе не учитывались. Очевидно, что такие же концентрации будут в сточных водах после нитрификации. Кроме того, принято, что после денитрификации содержание аммонийного азота численно равно содержанию азота нитратов после нитрификации, а содержание азота нитратов после денитрификации равно содержанию аммонийного азота после нитрификации. Такое решение принято на основании того, что при аммонификации и нитрификации азот из сточных вод не удаляется.

В соответствии с рисунком 2 на денитрификацию поступает смесь исходных сточных вод, рециркулирующего ила из вторичного отстойника и рециркулирующая иловая смесь из нитрификатора.

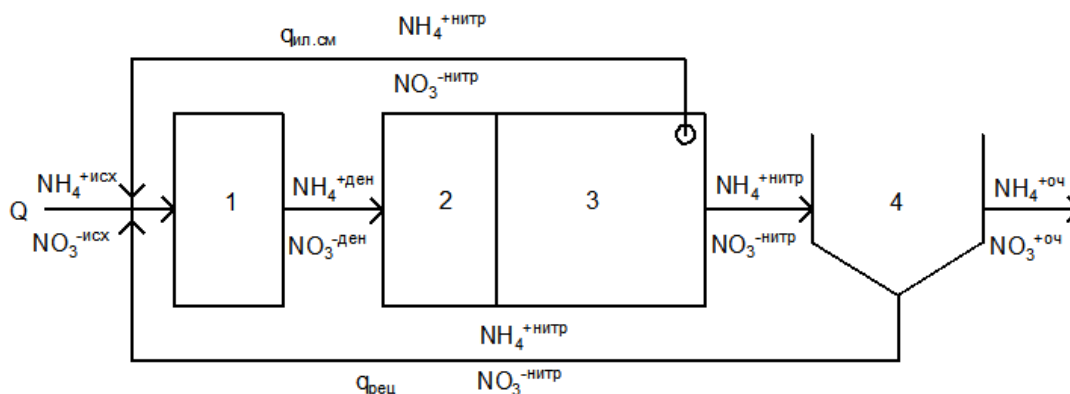


Рисунок 2 – Схема распределения концентраций азота аммонийного и азота нитратов на разных ступенях очистки

Для поступающей в денитрификатор смеси уравнения материального баланса для азота аммонийного будет иметь вид

$$Q \times NH_4^{+исх} + q_{рец} \times NH_4^{+нитр} + q_{ил.см} \times NH_4^{+нитр} = (Q + q_{рец} + q_{ил.см}) \times NH_4^{+ден}, \quad (1)$$

где Q – расход сточных вод;

$q_{рец}$ – расход рециркулирующего активного ила из вторичного отстойника;

$q_{ил.см}$ – расход иловой смеси из нитрификатора.

Поделив обе части балансового уравнения на расход Q и заменив

$(q_{рец} + q_{ил.см})/Q$ на величину общей степени рециркуляции иловой смеси и активного ила $R_{общ}$, получим выражение для её определения

$$R_{общ} = \frac{NH_4^{+исх} - NH_4^{+ден}}{NH_4^{+ден} - NH_4^{+нитр}}.$$

Из полученного выражения видно, что степень общей рециркуляции зависит от концентрации аммонийного азота в исходных сточных водах, поступающих на очистку, его концентрации после смешения с суммарным рециркулирующим расходом, а также от концентрации после нитрификации. Кроме того, анализ технологии удаления азота предшествующей денитрификацией показал, что степень рециркуляции зависит также от соотношения азота аммонийного к азоту нитратов после нитрификации, при сохранении общего содержания в очищенных стоках данных компонентов. Результаты такого анализа приведены на рисунке 3.

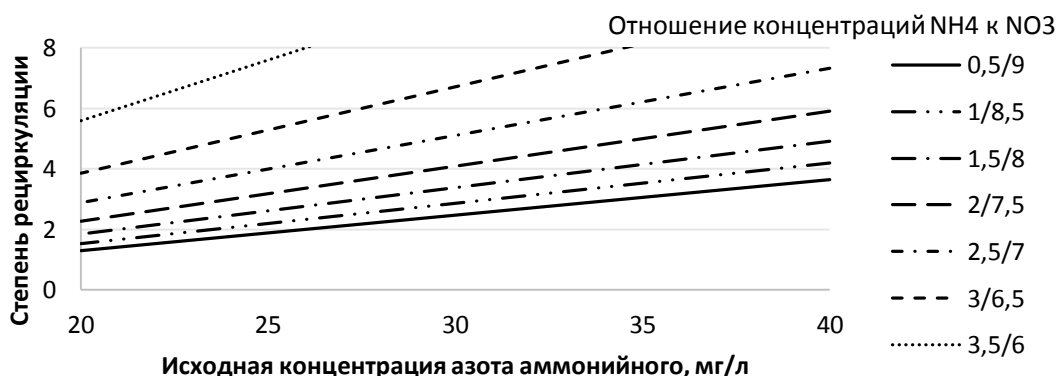


Рисунок 3 - Влияние исходной концентрации азота аммонийного и концентрации азота нитратов после нитрификации на общую степень рециркуляции иловой смеси

В соответствии с данными рисунка 3 степень рециркуляции принимает минимальные значения при соотношении азота аммонийного к азоту нитратов в очищенных стоках 0,5 мг/л к 9 мг/л соответственно, а также при наименьших концентрациях в исходной сточной жидкости аммонийного азота.

Анализ технологии предшествующей денитрификации показал, что скорости процессов, протекающих в денитрификаторе и в аммонификаторе, совмещённом с нитрификатором, значительно разнятся, что приводит к значительному превышению объёма аммонификатора с нитрификацией над объёмом денитрификатора

В следствие этого, была проверена возможность снижения общего объёма сооружений за счёт использования двухиловой системы. Принято, что первая иловая система обеспечивает работу денитрификаторов и аммонификаторов с нитрификацией, а вторая иловая система снижает концентрацию аммонийного азота до предельно допустимых концентраций. При этом работа второй иловой системы производится в биореакторах доочистки с волокнистой насадкой. В результате анализа установлено, что сокращение общего объёма сооружений возможно при введении двухиловой системы, а степень сокращения зависит от концентраций аммонийного азота в сточных водах после аммонификатора с нитрификацией и исходной концентрации аммонийного азота $\text{NH}_4^{+исх}$ в соответствии с рисунком 4.

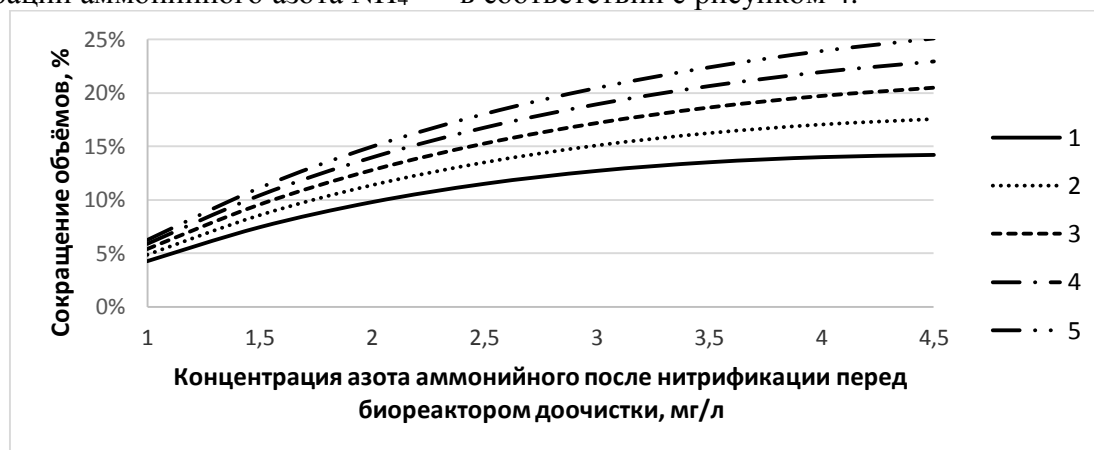


Рисунок 4 - Сокращение объёмов сооружений по удалению азота при использовании биореакторов доочистки в технологии предшествующей денитрификации

1 - $\text{NH}_4^{+исх}=40$ мг/л; 2 - $\text{NH}_4^{+исх}=35$ мг/л; 3 - $\text{NH}_4^{+исх}=30$ мг/л;
4 - $\text{NH}_4^{+исх}=25$ мг/л; 5 - $\text{NH}_4^{+исх}=20$ мг/л.

Из рисунка 4 видно, что сокращение общего объёма сооружений не превышает 25% по сравнению с общим объёмом в случае использования одноиловой системы, которая обеспечивает одинаковую эффективность удаления азота в сравнении с двухиловой. Таким образом, использование в технологии удаления азота биореактора доочистки, где осуществляется окончательная нитрификация, позволяет сократить капитальные затраты. Однако, при этом после аммонификации с последующей нитрификацией соотношение концентрации азота аммонийного к азоту нитратов в сточных водах изменится в сторону увеличения концентрации аммонийного азота, а степень необходимой рециркуляции значительно увеличится (рис.3). Это обстоятельство приводит к увеличению эксплуатационных затрат на рециркуляцию иловых смесей.

Для оценки эффективности использования биореактора доочистки (двухиловой системы) выполнены расчёты по определению приведенных затрат при исходных концентрациях азота аммонийного $\text{NH}_4^{+исх}$ 20, 25 и 30 мг/л, и концентрациях аммонийного азота после аммонификации с нитрификацией $\text{NH}_4^{+нитр}$ 1, 1,5 и 2 мг/л. В данных расчётах производительность была принята одинаковой для всех вариантов, и составила 25000 м³/сут. В расчётах использовались значения стоимости 1 м³ строительного объёма сооружений и

значения стоимости подачи 1 м³ воздуха для организации рециркуляции иловой смеси эрлифтами, приведенной в своде правил [5, с.160]. Результаты расчётов и сравнений по выбранным вариантам приведены на рисунке 5.

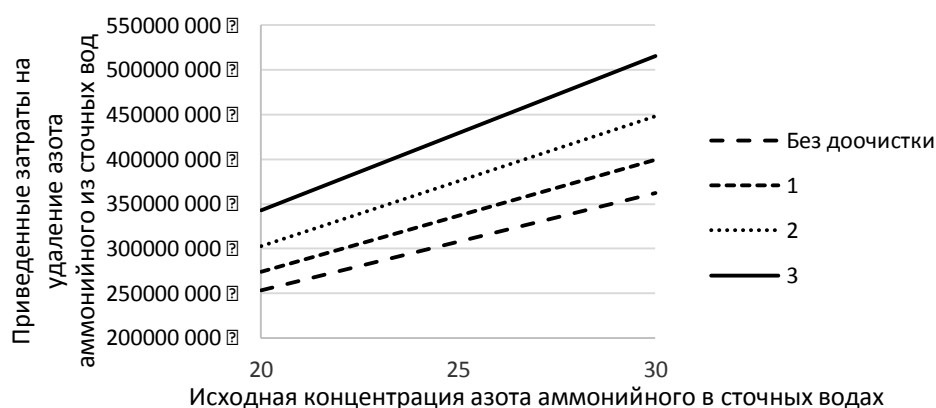


Рисунок 5 - График влияния исходной концентрации и концентрации после нитрификации на приведенные затраты
1 - $\text{NH}_4^{+\text{нитр}}=1$ мг/л, 2 - $\text{NH}_4^{+\text{нитр}}=1,5$ мг/л, 3 - $\text{NH}_4^{+\text{нитр}}=2$ мг/л.

Из рисунка 5 следует, что наиболее экономически целесообразной следует считать технологическую схему удаления азота из стоков по методу предшествующей денитрификации без использования биореакторов доочистки (двухиловой системы). Несмотря на сокращение общего объема сооружений, введение в схему очистки двухиловой системы не привело к уменьшению приведенных затрат в виду непропорционального изменения эксплуатационных затрат по сравнению с затратами капитальными.

Выводы.

1. Общая степень рециркуляции иловой смеси зависит от исходной концентрации азота аммонийного в сточных водах, поступающих на очистку, и от соотношения концентраций азота аммонийного к азоту нитратов после аммонификатора с нитрификацией.

2. Сокращение общего объема сооружений по удалению азота из сточных вод методом предшествующей денитрификации возможно при дополнительном введении в технологическую схему биореактора доочистки (двухиловая система). Однако, такое технологическое решение экономически нецелесообразно, в виду непропорционального изменения эксплуатационных затрат по сравнению с затратами капитальными, при применении биореакторов доочистки.

Список литературы

1. Ковальчук В.А. Очистка сточных вод. – Ровно: Ровенское издательство, 2002. – 622 с.
2. Лихачев Н.И. Канализация населённых мест и промышленных предприятий/ Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин. - М.: Стройиздат, 1981. - 639 с.
3. Мишухов Б.Г. Перспективные схемы биологической очистки сточных вод от азота и фосфора. Вода и экология, №1 1999 г. – 72 с.
4. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП. - М.: Стройиздат, 1990 г. - 57 с.
5. СП НЦС 81-02-19-2017. Здания и сооружения городской инфраструктуры. - М.: Минстрой РФ, 2017. - 160.с
6. Чурбанова Н.И. Микробиология. – М.: Высшая школа, 1987. - 239 с.

УДК 628.1

Айсин Эльдар Тагирович,
Лукьянчук Ярослава Станиславовна,
студенты 2 курса магистры гр. ВВмб -46,
кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов;
Зайченко Людмила Геннадиевна,
к.т.н., доцент кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В СИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Определены основные факторы, которые влияют на техническое состояние водопроводной сети, рассмотрены составляющие технологических расходов и потерь воды из систем водоснабжения для двух категорий водопотребления. Выполнены расчеты технологического расхода питьевой воды для жилищно-эксплуатационного предприятия (ЖЭП), а также технологического расхода питьевой воды для наружных сетей водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) г. Юнокоммунаровска. Рассмотрены мероприятия, направленные на уменьшение технологических расходов воды, на улучшение экономических показателей работы предприятий и снижение себестоимости продукции.

Ключевые слова: водопроводная сеть, технологические расходы воды, жилищно-эксплуатационные предприятия, технологический норматив использования питьевой воды

Инженерные системы городов играют значительную роль в формировании экономической и социальной жизни любого региона. Они во многом характеризуют степень благоустройства и уровень коммунального обслуживания населения. Важнейшей компонентой инженерных систем являются трубопроводы водоснабжения, которые должны бесперебойно подавать воду потребителям в требуемых количествах с необходимым напором.

Целью данной работы является исследование факторов, влияющих на показатели технологических расходов питьевой воды в системе коммунального хозяйства, которые направлены на оптимизацию работы внутреннего и наружного водоснабжения.

Основные составляющие технологических расходов и потерь воды из систем водоснабжения для двух категорий водопотребления различны [2-4].

Из наружных сетей и сооружений, которые включаются в лимиты забора воды из источников водоснабжения и соответствующим образом тарифицируются:

- технологические расходы при подъёме, очистке и транспортировании воды, включая технологические расходы во вспомогательных цехах предприятий;
- потери воды на очистных сооружениях водопровода;
- потери и неучтенные расходы воды из систем подачи и распределения воды;
- расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды работников водопроводно-канализационного хозяйства;
- расходы воды на поддержание территории зон санитарной охраны и сооружений в надлежащем санитарном состоянии.

Из внутридомовых сетей и водозаборной арматуры технологические расходы и потери оплачиваются потребителями или водоснабжающими предприятиями (иногда организациями, эксплуатирующими жилые здания):

- технологические расходы воды на промывку внутридомовых трубопроводов;
- технологические расходы на полив придомовой территории;
- технологические расходы на уборку мест общего пользования и придомовой территории;

- технологические расходы воды на хозяйственные нужды (производственные мастерские, транспортные средства, дворовые туалеты и т.п.);
- потери воды при повреждении трубопроводов и опорожнении системы для ремонта;
- утечки из водоразборной арматуры;
- неучтенные потери из-за недостаточной чувствительности квартирных водосчетчиков и ухудшения их метрологических характеристик;
- неучтенные потери воды на внутридомовое пожаротушение при наличии таких устройств в домах повышенной этажности.

Коллективом кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры ведутся работы по расчету технологических нормативов использования питьевой воды:

- 1) жилищно-эксплуатационными предприятиями и организациями;
- 2) предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства.

На примере г. Юнокоммунаровска был выполнен расчёт технологических расходов питьевой воды для жилищно-эксплуатационного предприятия (ЖЭП), а также расчет технологических расходов питьевой воды для наружных сетей водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ). Согласно технологии эксплуатации водопроводных сетей для ВКХ г. Юнокоммунаровска вода расходуется на:

- сброс воды из трубопровода на ремонтном участке при аварии;
- хлорирование ремонтного участка сети после ремонта;
- промывку ремонтного участка после хлорирования;
- промывку водопроводной сети перед плановым хлорированием водопроводных сетей;
- приготовление хлорной воды при плановом хлорировании водопроводных сетей;
- промывку водопроводных сетей после хлорирования;
- технологические нужды на очистку сточных вод – $3,6 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Для определения величины этой статьи расхода воды в качестве исходных данных были использованы отчетные данные технического отдела жилищно-эксплуатационного хозяйства г. Юнокоммунаровск. Потребление воды на технологические нужды составило $5921 \text{ м}^3/\text{год}$ или в среднем за сутки – $16,2 \text{ м}^3$, что составляет 0,8 % от общей подачи, в том числе: на технологический процесс – 0,4%; вспомогательные объекты – 0,19%; содержание санитарных зон – 0,01%.

Эффективность работы систем водоснабжения в определённой степени зависит от потерь воды и неучтённых расходов, основными причинами которых являются [1, 5]:

- устаревшее сантехническое оборудование;
- ветхие внутридомовые сети;
- несвоевременное техническое обслуживание внутридомовых систем водоснабжения;
- низкая культура водопользования.

Методика расчёта ИТНИПВ разработана с целью обеспечения рационального использования питьевой воды на содержание домов, сооружений и придомовых территорий путем установления индивидуальных технологических нормативов использования питьевой воды жилищно-эксплуатационными предприятиями и организациями.

Индивидуальный технологический норматив использования питьевой воды жилищно-эксплуатационным предприятием на содержание 1 м^2 общей площади жилья на протяжении года для г. Юнокоммунаровска представлен в таблице 1.

Нормативный сброс сточных вод от технологического использования питьевой воды в канализацию – $0,33 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

Технологический норматив использования питьевой воды определяется по формуле:

$$\text{ИТНИПВ} = Q_{\text{техн.}} + Q_{\text{н.о.}} + Q_{\text{г.п.}} + Q_{\text{утр}} / F, \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ за год}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{техн.}}$ – нормативные технологические расходы воды, м^3 ;

$Q_{\text{н.о.}}$ - норматив не учтенных расходов воды, м^3 ;

$Q_{г.п.}$ - расходы воды на хозяйственно-питьевые потребности работников ЖЭП, м³;
 $Q_{утр}$ - расход воды на поливку зеленых насаждений и уборку придомовой территории, м³;

F – общая площадь квартир, которые обслуживаются ЖЭП, м².

Процент ИТНИПВ ЖЭП от общего водопотребления составил - 29 %.

Таблица 1 - Индивидуальный технологический норматив использования питьевой воды

№ п/п	Составляющие ИТНИПВ	Расчетный норматив м ³ /м ² в год	Примеч. (попадает в канализацию м ³ /м ² в год)
1	2	3	4
1	Технологические расходы воды:	0,012	0,012
1.1	Ремонтные работы на внутридомовых трубопроводах	0,004	0,004
1.2	Промывка внутридомовых систем	0,0002	0,0002
1.3	Промывка водоочистных установок	-	-
1.4	Мойка мусорников и мусоропроводов	0,0003	0,0003
1.5	Влажная уборка мест общего пользования	0,001	нет
1.6	Промывка дворовых туалетов	-	-
1.7	Использование воды на вспомогательных объектах	0,005	0,005
1.8	Испытание систем противопожарного водопровода	0,0001	нет
2	Неучтенные расходы воды:	0,33	0,33
2.1	Недоучет квартирных счетчиков учета воды	0,1	0,1
2.2	Коммерческие потери	0,12	0,12
3	Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды работников	0,003	0,003
4	Расход воды на содержание придомовой территории	1,1	нет
4.1	Поливка зеленых насаждений и уборка придомовой территории	1,1	нет
	ВСЕГО:	1,4	0,33

Главной приоритетной задачей жилищно-коммунальной реформы есть повышение уровня качества обеспечения населения питьевой водой, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормам, а также рациональное использование водных ресурсов. Для решения этих задач необходима разработка и реализация мероприятий, которые обеспечивают повышение эффективности и надежности работы систем водоснабжения.

Выводы.

Предложены мероприятия по оптимизации работы систем внутреннего и наружного водоснабжения, которые направлены на улучшение экономических показателей работы предприятий коммунального хозяйства и снижение себестоимости продукции:

- создание правовых и экономических условий, стимулирующих жилищные организации к приведению в порядок внутридомовых сетей;
- завершение создания служб единого заказчика с разделением функций исполнителя и поставщика услуг;
- утверждение инструкции по нормированию и определению потерь в многоквартирных домах;
- стимулирование экономической заинтересованности абонентов – жителей частного сектора, в установке приборов учета;

- оценка технического состояния отдельных участков водопроводной сети и технико-экономическое обоснование их замены или санации изношенных участков;
- организация работы с общественностью в целях повышения культуры водопотребления.

Список литературы

1. Зайченко Л.Г. Методика расчёта норм водопотребления населением при отсутствии приборов учёта у потребителей на примере города Донецк / Л.Г. Зайченко, Ф.Н. Хапчук, К.Ю. Кухарь // I Республиканская научно-практическая конференция «Развитие строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства в Донецкой Народной Республики» - Макеевка, ГОУ ВПО ДонНАСА, 2018 - С. 215-218.
2. Маслак В.Н., Зотов Н.И. Трубопроводы водоснабжения: вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации / В.Н. Маслак, Н.И. Зотов // – Донецк: «Вебер», 2007 – 462 с.
3. Маслак В.Н. Методическое пособие по проведению учета и нормирования потерь воды. / В.Н. Маслак, Н.Г. Насонкина – Донецк, 2007. – 38 с.
4. Зайченко Л.Г. Анализ технологических потерь использования питьевой воды для городов Донецкой области/ Л.Г. Зайченко, Л.В. Горшкова, А.И. Ганзель // III Международная научно-практическая конференция "Вода, экология, общество". – Харьков – ХНАГХ, 9.02.-11.02.10. – С.157-159.
5. Кухарь К.Ю. Обоснование технологического норматива использования питьевой воды жилищно-эксплуатационным предприятием в системе коммунального хозяйства / К.Ю. Кухарь, А.В. Бережной // III открытая международная очно-заочная научно-практическая конференция "Актуальные проблемы развития городов "- Макеевка, ГОУ ВПО ДонНАСА, 2019 - С. 349-354.

УДК 628.89

Бутенко Константин Викторович,
магистрант 2-го курса, кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции;
Удовиченко Злата Викторовна,
к.т.н., доцент, доцентка кафедры теплотехники,
теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В данной статье рассмотрена разработка комплексного подхода к совершенствованию систем обеспечения микроклимата. Проблематика совершенствования научно-методологических основ нормирования и расчета аэродинамических и теплофизических показателей энергоэффективных систем обеспечения параметров микроклимата зданий и сооружений различного назначения постоянно актуальна и имеет важное практическое, научное и социальное значение.

Ключевые слова: микроклимат, энергетическая эффективность, комплексный подход, системный подход.

На сегодняшний день существует общий методологический подход к снижению потребления энергии в жилых и производственных сельскохозяйственных зданиях и сооружениях, и он основан на разработке инженерных мероприятий по доведению реальных расходов энергии к расчетным расходам. Понятие энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата, которое включает в себя полное использование высокопотенциальной и низкопотенциальной искусственно генерируемой энергии, изменяется и сужается к понятию энергосбережения. Энергосбережение – административная мера снижения сверхнормативных потерь энергии системами, которые вызваны ошибками при проектировании, монтаже либо эксплуатации систем в нерасчетных условиях.

Рассмотренный в статье комплексный подход к созданию систем обеспечения параметров микроклимата в помещениях, энергоэффективных зданиях и сооружениях в целом основан на объединении в единый комплекс энергетических систем и объемно-планировочных решений. В данном случае динамика формирования параметров микроклимата будет зависеть одновременно от пассивных (тепловой контур здания) и активных (отопление, холодоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха) систем обеспечения параметров микроклимата [1].

Применение системного подхода к выявлению динамики и закономерностей формирования параметров микроклимата может привести к необходимости выделения, как жилых зданий, так и производственных сельскохозяйственных зданий, и сооружений к отдельным самостоятельным классам по нормированию и расчёту энергоэффективных систем обеспечения оптимальных и допустимых параметров внутреннего воздуха.

Данный методологический подход обосновывается следующими специфическими особенностями формирования комфортной среды в рассматриваемых помещениях в соответствии с рисунком 1 [3].

В жилых зданиях к ним можно отнести не стационарность, нерегулируемость начальных и граничных условий, например:

– переменный аэродинамический режим, как нерегулируемой естественной вентиляции, так и механической вентиляции. Из-за того, что происходят температурные изменения наружного воздуха, изменяется направление и скорость ветра на протяжении сезона либо суток, на которые дополнительно накладывается переменное располагаемое давление по

этажам;

- конструктивные особенности теплового контура помещений (герметичность окон, входных дверей);
- разнообразные тепловыделения, которые зависят от назначения помещений и количества проживающих людей.

Данные и другие условия не позволяют составить адекватную систему уравнений по аналитическому расчету воздушного и теплового баланса помещений многоквартирных жилых домов [2].

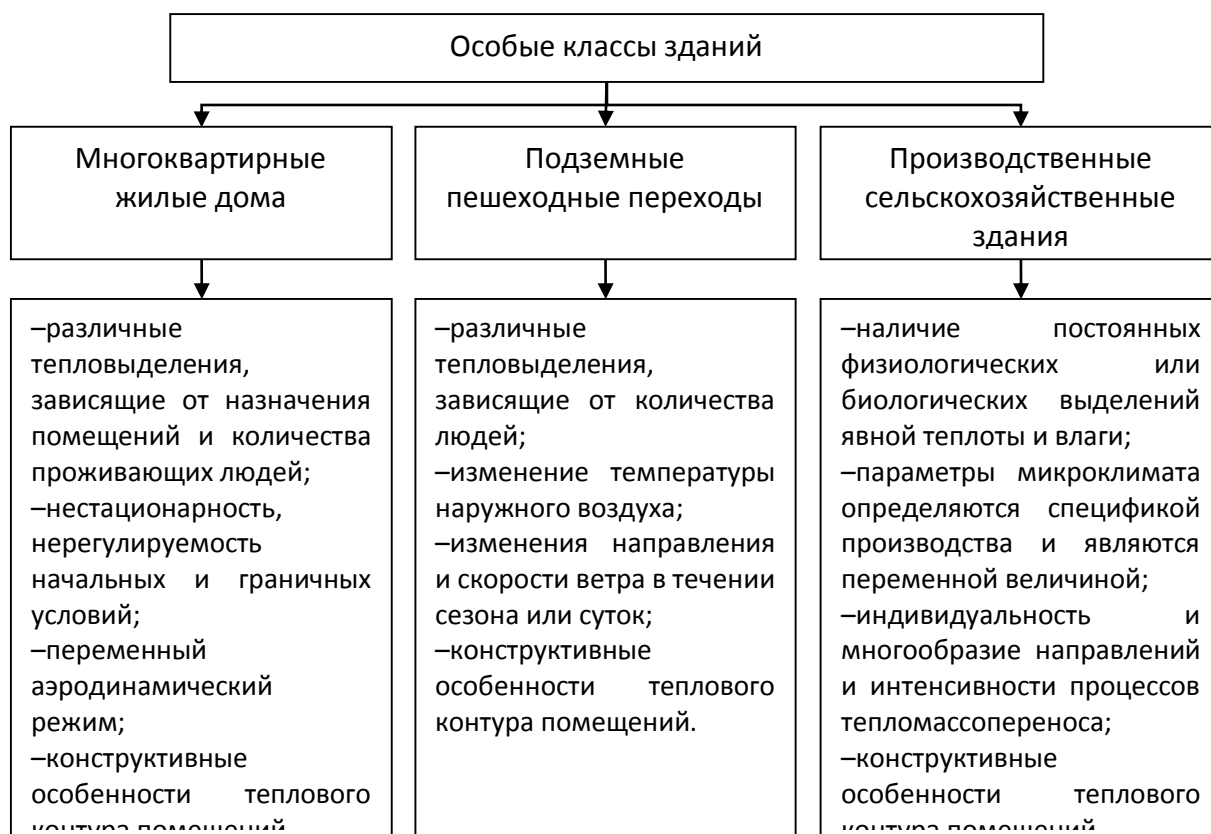


Рисунок 1 - Особенности формирования микроклимата в зданиях и сооружениях различного назначения.

Особенности формирования параметров микроклимата помещений производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений, следующие:

- в холодный период года имеются постоянные физиологические или биологические выделения явной теплоты, они делают главной функцией теплового контура удаление (рассеивание в атмосферу) тепловыделений с обеспечением условий предупреждения переохлаждения животных, птиц, хранящегося сочного растительного сырья;
- нормирование теплозащитных показателей теплового контура должно основываться на объективных характеристиках конкретных сооружений с учетом их объемно-планировочных решений и технологий производства, которые приводят к однозначному результату;
- многообразие и индивидуальность направлений, а также интенсивности процессов тепломассопереноса (например, минимизация влагоотдачи от хранящегося сочного растительного сырья и максимальный влагообмен при сушке травы) [3].

Предлагается системный подход, который включает комплексное изучение и разработку

объёмно-планировочных и инженерно-конструктивных моделей. Первая модель склоняется к принципу компактности и формирования буферных зон при оптимизации аэродинамических и теплофизических показателей зданий. Это позволяет определить рациональные пространственные, композиционные и конструктивные параметры при различных внешних воздействиях. К последним можно отнести круглогодичное изменение параметров наружного воздуха (температура, относительная влажность, подвижность по румбам, интенсивность солнечной радиации и др.).

Во вторую модель, неразрывно связанную с первой, включаются системы жизнеобеспечения, которые оценивают параметры комфортности помещений и экономичности при наличии различного теплообеспечивающего инженерного оборудования. Эта модель может раскрывать физическую возможность применения и область практического применения естественных источников энергии (физиологической, биологической, ветровой, солнечной радиации и др.) в круглогодичном режиме эксплуатации систем, регенерации и утилизации тепловой энергии [4].

Подводя итог можно сказать, что системный анализ современного состояния повышения энергоэффективности зданий и сооружений выявил отсутствие единого методологического подхода по снижению потребления энергии как пассивными (тепловой контур), так и активными (системы вентиляции, отопления, кондиционирования, холодоснабжения) элементами систем обеспечения параметров микроклимата, в том числе за счет преобладающего использования естественных источников энергии.

Список литературы

1. Архипцев А.В. Эффективная система вентиляции / А.В. Архипцев, И.Ю. Игнаткин, М.Г. Курячий // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: Изд-во ГБОУ ВПО НГИЭИ, 2013. - № 8 (27). – С. 10-15.
2. Кузнецов, Е.П. Экспериментальные исследования параметров микроклимата при контейнерном хранении сочного растительного сырья / Е.П. Кузнецов, М.Н. Кучеренко // Вестник ТГАСУ, № 2, 2014. – С. 142-149.
3. Архипцев А.В. Автоматизированная система микроклимата с утилизацией теплоты вытяжного воздуха / А.В. Архипцев, И.Ю. Игнаткин // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: Изд-во ГБОУ ВПО НГИЭИ, 2016. - № 4 (59). – С. 5-14.
4. Кучеренко М.Н. Энергоэффективные системы обеспечения микроклимата производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений: монография / М.Н. Кучеренко. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. – 124 с.
5. Kavolelis B. Evaluation of regulation methods of the cowshed ventilation system // Agricultural engineering. Reseach papers 38 (1). Raudondvaris, 2006. - P.40-52.

УДК 628.47

Золотухина Наталья Викторовна,
ст. преподаватель кафедры
«Строительство и эксплуатация зданий и систем жизнеобеспечения»;
Еребакан Григорий Николаевич,
студент гр.41, спец. СиЭЗиС
Бендерский политехнический филиал
Приднестровского Государственного Университета им. Т.Г. Шевченко

О ВОПРОСЕ СОРТИРОВКИ ТБО ПРИ САНИТАРНОЙ ОЧИСТКЕ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

В данной статье рассмотрена санитарная очистка населенных мест, ее виды, недостатки, возможности и приведен опыт санитарной очистки в европейских странах на примере Швейцарии.

Ключевые слова: санитарная очистка, сортировка, утилизация, сжигание отходов

Очень важный существенный элемент благоустройства населенных мест является санитарная очистка территорий - это комплекс мероприятий по сбору, временному хранению, вывозу, обезвреживанию и утилизации отходов, образующихся в населенных местах. «Отходы – это остатки веществ и предметов, которые образовались вследствие бытовой, хозяйственной и промышленной деятельности человека, которые не могут быть использованы на месте образования, а их накопление и хранение ухудшает санитарное состояние окружающей среды. Делятся отходы на жидкие и твердые» [6].

20 век стал веком отходов, пищевые отходы, упаковка всевозможных товаров, строительные материалы, отжившие свое бытовые предметы, - все это и многое другое образует горы отходов, скапливающиеся в любых местах пребывания человека. Некоторые отходы мы помещаем в специализированные контейнеры, другие - просто бросаем на улицах, тем самым портим вид населенных пунктов, дикой природы и среду, окружающую человека, поэтому очистка населенных мест служит важнейшей мерой санитарной охраны почвы и вод от всевозможных загрязнений.

Санитарно-эпидемиологическое значение отбросов заключается в том, что в них могут содержаться возбудители многих инфекционных заболеваний, глистных инвазий, также значительную роль в передаче инфекций через отбросы играют мухи и крысы. Любые отбросы оказывают неблагоприятное влияние в психогигиеническом отношении, вызывая неприятные зрительные и обонятельные ощущения [4].

Уборка территории населенных мест должна предусматривать рациональный сбор, быстрое удаление, надежное обезвреживание и утилизацию бытовых отходов, в том числе пищевых, отходов из жилых и общественных зданий, культурно-бытового назначения, жидких отходов из не канализованных зданий, уличного мусора, смета и других бытовых отходов, скапливающихся на территории города [6].

С водными отходами проблема стоит не так остро, потому как система сплавной, вывозной и смешанной системы в населённых пунктах налажена более организованно, так как канализационные сети прокладывают при строительстве и реконструкции гражданских и промышленных зданий. Большая проблема – это твердые хозяйственно-бытовые и промышленные отходы, которые складываются на свалках, занимая большие территории и ухудшая состояние почвы, отрицательных и негативных последствий полигонов с отходами в общем на окружающую среду очень много.

В настоящее время в населенных пунктах стран постсоветского пространства сбор, вывоз (транспортирование) твердых бытовых отходов осуществляется путем вывоза мусора на свалки и специализированные полигоны мусоровозами. Система санитарной очистки

населенных мест различается на: плано-подворную, при которой ТБО собирают в оборудованные мусоросборники, расположенные на специальных площадках для сбора ТБО на территории домовладений, а затем специальным автотранспортом по графику вывозят к местам обезвреживания, при этом данная система может быть «стационарной» (мусоросборники опоражнивают в мусоровозы и затем устанавливают на место) и «сменной» (мусоросборники или контейнеры вместе с ТБО вывозят контейнеровозами к местам обезвреживания, а в замен оставляют пустые чистые); плано-поквартирную, при которой жильцы собирают ТБО в квартирах и выносят в обусловленное время к мусороуборочной машине.

С 2010 года в РФ был введен в действие СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях», один из пунктов которого гласит: «контейнеры и другие емкости, предназначенные для сбора бытовых отходов и мусора, должны вывозиться ежедневно» [5]. Санитарная очистка населенного пункта должна быть плановой (осуществляться по утвержденному плану, графику), регулярной (вывоз отходов в теплый период года - ежедневно, в холодный - 1 раз в 1-3 суток), коммунальной (осуществляться предприятиями коммунального хозяйства) и не зависеть от желания отдельных лиц или учреждений. Предусматривает 3 этапа: сбор и временное хранение твердых бытовых отходов; их вывоз; обезвреживание и утилизацию [4].

В Приднестровье нормативы, выходящие в РФ, в обязательном порядке учитывают, активно используют в переработанном под наши условия и требования виде. На счет плановости санитарной очистки вопросов не возникает, но вот на счет регулярной ежедневной санитарной очистки с территорий дворов, возникают вопросы и сомнения от города к городу, от поселка к поселку... Как было сказано выше: «...рациональный сбор, быстрое удаление, надежное обезвреживание и утилизацию бытовых отходов» включает в себя санитарная очистка населенных мест, здесь снова можно возникает много вопросов к рациональному сбору мусора и утилизации отходов. Система рационального сбора отходов в нашем регионе абсолютно не налажена, начиная с государственной политики и заканчивая менталитетом людей, разнообразные виды отходов сбрасываются в общий контейнер, об утилизации и думать пока не приходится, что очень печально, глядя на опыт других стран.

Плано-подворная система санитарной очистки населенных мест в особенности сменная имеет более выигрышное положение по сравнению с плано-поквартирной, так как жильцы в любое время суток могут вынести ТБО, а также сортирование мусора при данной системе возможно организовать более полно. Ведь на сегодняшний день очень важна сортировка мусора! Так как при правильной сортировке возможна более полная утилизация отходов, а оставшийся не утилизированный мусор возможно сжигать на заводах без вредного загрязнения окружающей среды.

Раздельный сбор и переработка мусора в РФ и странах СНГ до сих пор не налажены, что и в основном является большой проблемой в образовании новых мусорных полигонов и разрастании старых с их большим количеством влияний на окружающую среду. Нам необходимо перенимать опыт зарубежных стран в этом вопросе! Европейские страны уже давно остро поставили вопрос о утилизации отходов и ведут активно в этом направлении свою политику. Очень больших успехов и видимых результатов добилась Швейцария, которая находится в настоящее время впереди планеты всей в плане развития технологий утилизации мусора и переработки вторичного сырья.

Однако проблему укрепления не всегда хороших привычек, характерных для современного «одноразового» общества потребления даже швейцарцы до конца решить не могут, что уж говорить о нашем обществе постсоветского региона. А надо обратить внимание на очень верные слова, сказанные П. Гайссельхардт, исполнительного директора и главного экономиста общественно-политического и научно-аналитического объединения Swiss Recycling (Швейцария) - «Нельзя забывать, что тратим мы ресурсов больше, чем Земля в

состоянии дать нам без ущерба для себя самой. Для того, чтобы обеспечить нашим внукам и правнукам достигнутый уровень благосостояния, мы обязаны качественно изменить наше отношение к тому, что мы так легкомысленно называем «отбросами». А сейчас, даже несмотря на все фильтры, слишком много еще материалов, вполне пригодных для рекультивации, попадает в мусор и уничтожается» [1]. Все более дорогим и все менее доступным становится сырье. Швейцария относится к странам, практически не имеющим никаких собственных полезных ресурсов, которые ей необходимо экспортировать, а это как понимаем исчисляется миллионами евро, поэтому правильная переработка отходов позволяет экономить на экспорте определенных групп товаров.

Швейцария - одна из немногих стран мира, где утилизация и переработка мусора возведена едва ли не в ранг высокого искусства. В итоге примерно 85% переработанного и рассортированного здесь мусора идет на переработку и рекультивацию, остатки сжигаются на электростанции Forsthaus.

В Швейцарии очень удивительно то, что в городах ее очень чисто, и это очень удивляет приезжающих туда туристов в соответствии с рисунком 1. Никаких привычных помоек, уродующих внешний вид населенных пунктов и отравляющих землю и воздух, в Швейцарии нет. Как же им удалось добиться такого невероятного результата? Несомненно, в этом большая заслуга самих жителей страны, ведь чисто в основном там, где люди не мусорят. Кроме того, весь мусор здесь стараются тщательно сортировать, для этого установлены контейнеры для разного вида мусора в соответствии с рисунком 2. А для несознательных граждан правительство предусмотрело систему штрафов [1]. Вот систему штрафов необходимо на государственном уровне вводить и в странах СНГ, что для менталитета данного региона более будет продуктивной мерой.



Рисунок 1 - Улица города Берн, Швейцария



Рисунок 2 - Сортировка мусора по контейнерам на во дворах г. Берн, Швейцария

Только задумайтесь! Жители Швейцарии выбрасывают бутылки в предназначенные для них контейнеры, предварительно отсортировав их по цвету стекла (рис.2). Вследствие этого практически вся стеклянная тара в стране — около 90 процентов — отправляется на переработку. Такие показатели на сегодняшний день являются лучшими в мире.

Производится сортировка и переработка бумаги и картона, хоть она и стоит дороже, чем переработка стекла, но тем не менее здесь ее производят и выделены контейнеры для сбора бумаги и картона. В результате около трети швейцарских печатных изданий запускается в переработку. 60 процентов всех элементов питания здесь перерабатывается, так как швейцарцы помнят о вреде батареек для экологии.

Честно просто поразительно как много всего швейцарцам приходится сортировать! Это лампы, банки из-под консервов, строительный мусор, электроприборы, машинное масло и еще много всяких разных вещей. Это приводит в восторг! Необходимо брать пример для подражания нашему населению. Ведь очень важно соблюдать чистоту! Даже умерших

животных в Швейцарии принято не закапывать в землю, а сдавать в крематорий за определенную цену. Конечно, местные жители могут выбросить свои бытовые и пищевые отходы в одном пакете, ничего не сортируя, но в этом случае за мусор необходимо будет заплатить налог. Вот правильное решение: выбросил не сортированный мусор – плати! А зачем тратить деньги, когда можно произвести сортировку и выбросить мусор, потратив при этом минимум средств.

Контроль за тем, чтобы люди выбрасывали отходы в надлежащих для этого местах, осуществляют специальные полицейские. Всех нарушителей они штрафуют в обязательном порядке. Вот вам и решение – специальные полицейские! Опять доказывается, что чистота в Швейцарии, в первую очередь зависит от людей, а штрафы, накладываемые за нарушение, это правильная политика властей в закреплении привычек людей не мусорить и мусор сортировать. Несколько лет ведения в этом направлении правильной политики - и результат превзошел все ожидания. Страна преобразилась и теперь считается одной из самых чистых и прекрасных в мире.

В Берне, например, городские власти каждый год выпускают довольно сложно устроенный календарь, где по дням расписан порядок утилизации разных видов бытовых отходов в зависимости от района города. Мелкий мусор в мешках по 35 или 110 литров тут два раза в неделю, просто выставляют у подъездов или складывают в специальный закрытый контейнер. Затем, в середине дня, приезжает спецмашина и забирает мешки, которые попадают на электростанцию «Forsthaus». Здесь огромное устройство, напоминающее экскаватор, загружает мусор на конвейер, ведущий в камеру сгорания, температура в которой около 1000°C. Кстати, вопреки расхожим представлениям, сжигание мусора с целью утилизации и получения дополнительной энергии является вполне экологически чистым делом - при условии, конечно, scrupulous соблюдения всех инженерных и технологических параметров и требований.

Электростанция Forsthaus – дочернее предприятие бернского Управления городского хозяйства и инженерных коммуникаций Energie Wasser Bern г. Берн (Швейцария). Электростанция введена в эксплуатацию в 2013 году. В среднем в день на электростанции Forsthaus сжигается 400 тон мусора, в год примерно 120 тыс. тонн, что эквивалентно 64 ГВт электроэнергии и 144 ГВтч тепловой энергии. На долю атомной энергии, а также энергии, вырабатываемой на ГЭС, приходится примерно 90% от общего объема энергии, потребляемой в Швейцарии [2].

Энергетический центр Forsthaus превращает отходы, древесину и природный газ в электричество, пар и центральное отопление как высокоэффективную общую систему. Данный комплекс выполняет цели энергетических стратегий города Берн. В значительной степени он использует возобновляемые ресурсы и использует их для производства местной энергии: около одной трети потребности города в электроэнергии и двенадцать процентов потребности в отоплении. Благодаря современным технологиям энергетический центр Forsthaus работает экологически безвредно и соответствует строгим требованиям. Дополнительные процессы фильтрации и очистки обеспечивают повторное использование как можно большего количества ценных веществ и сохранение ресурсов в результате этого общие выбросы CO₂ при производстве электроэнергии Берна сократились на 57 000 тонн в год.

Сжигание мусора экономически выгодно и безвредно – это возможно и у нас, в РФ начинают строительство заводов по европейским проектам, но это вызывает множество споров по поводу загрязнения воздуха [3], но прежде чем сжигать необходимо сортировать мусор, а вопрос этот решить возможно, начиная с государственной политики стран.

Список литературы

1. Вот как решили проблему борьбы с мусором в Швейцарии. Пример для подражания всему миру. [Электронный ресурс] URL: <https://travelask.ru>.
2. Работа теплоэлектростанции «Forsthaus» [ЭП] URL: <https://www.swissinfo.ch>
3. Чем пахнет швейцарский мусоросжигательный завод? [Электронный ресурс] URL: <https://flb.ru/5/2164.html>
4. Санитарная очистка населенных мест [Электронный ресурс] URL: <https://46cge.rospotrebnadzor.ru/info/85543/>
5. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».
6. Санитарная очистка населенных мест. [Электронный ресурс] URL: https://studopedia.su/13_115875_sanitarnaya-ochistka-naselennih-mest.html

УДК 648

Лысенко Татьяна Сергеевна,
Шпилевой Владислав Владимирович,
магистранты 2 года обучения кафедры
техносферной безопасности;
Самойлова Елена Эдуардовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры техносферной безопасности
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В данной работе рассмотрена возможность применения шлакощелочного бетона в дорожном строительстве, что является актуальным в настоящее время. Это обусловлено эколого-экономическими факторами, и необходимостью утилизации накопленных промышленных отходов и меньшей стоимостью шлакощелочного бетона

Ключевые слова: отходы, шлаки, шлакощелочной бетон, асфальтобетон, утилизация, цементобетон

Работа освещает возможности применения шлакощелочного бетона в дорожном строительстве. Обоснованием для этого является необходимость утилизации промышленных отходов, накопленных в результате многолетней работы горнодобывающих, металлургических предприятий, а также теплоэлектростанций. В Донецкой Народной Республике накопилось большое количество твердых отходов – породные отвалы, металлургические шлаки и золошлаки ТЭС, поэтому использование этих производственных отходов в качестве вторичного сырья является актуальным, особенно в дорожном строительстве. Особенность отходов заключается в том, что они уже прошли высокотемпературную обработку, кристаллические структуры в отходах сформированы, и не содержат органических примесей. Шлаки являются искусственными силикатами, которые состоят из окислов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, марганца и других химических соединений, и по цвету близки к горным породам. Шлаки имеют серебристые, перламутровые и сиреневые оттенки, по структуре могут быть плотными и пористыми, тяжелыми, как базальт, и легкими как туф или ракушечник. Плотность шлака колеблется от 800кг/м³ до 3200кг/м³. Удельный вес, т.е. вес его вещества, близок к весу природных каменных материалов и составляет 2,5-3,6г/см³. По химическому составу доменные шлаки делятся как основные, нейтральные и кислые.

Основными являются шлаки с модулем основности $M = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3)$, больше единицы, кислые - меньше единицы.

Примерный химический состав доменных шлаков, следующий: SiO₂-30-40%, CaO -30-50% Al₂O₃ - 4-20%, MnO-0,5-2%, FeO-0,1-2%, SO₃ -0,4-2,5% [1].

В Киевском государственном техническом университете строительства и архитектуры под руководством докторов технических наук Глуховского и Кривенко в 80 годы прошлого века проводились исследования шлакощелочных цементов и бетонов. Шлакощелочные цементы придают большую водонепроницаемость, морозостойкость и жаростойкость, лучшую устойчивость к воздействию агрессивных сред.

Приготовление шлакощелочного бетона, по сути, не отличается от приготовления обычного бетона на основе портландцемента, с одной лишь разницей – затворение бетонной смеси производится растворами щелочных компонентов [2].

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры были проведены испытания двух видов шлакощелочного бетона, использованных для бетонирования

временной площадки пограничного и таможенного контроля ППТК «ОЛЕНОВКА». Определен предел прочности при сжатии и водопоглощение экспериментальных бетонов на кубиках с ребром 10 см, который составил 36,66 и 35,33 МПа соответственно. Предел прочности при изгибе - на балочках 10x10x40 см - 4,83 и 4,80. Бетонная смесь уплотнялась методом вибрации. Отформованные образцы в укрытых формах выдерживались в течение суток, затем извлекались из форм и помещались в камеру с гидрозатвором и выдерживались дополнительно 27 суток над водой при температуре 18-22 °С и относительной влажности 95-100%. Испытания проводились согласно документам [3,4].

Результаты испытания бетона приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства смесей бетонов

№ состава	Предел прочности, МПа		Морозостойкость	Водопоглощение, %
	При сжатии	При изгибе		
1	36,66	4,83	F200 (потеря массы 2,5%, потеря прочности 12%)	8,3
2	35,33	4,80	F200 (потеря массы 2,9%, потеря прочности 11,5%)	8,4

Выводы.

1. По пределу прочности при сжатии оба состава бетона относятся к классу В25, приближаясь к классу В30 (по ДСТУ Б В.2.2-43-96 и ДСТУ Б В.2.7-25-95 минимальная прочность при сжатии 3,5 МПа или 392,9 кг/см²).
2. По пределу прочности при изгибе оба состава бетона относятся к классу Вt3,6 (по ДСТУ Б В.2.2-43-96 и ДСТУ Б В.2.7-25-95 минимальная прочность при изгибе 4,62 МПа или 47,2 кг/см²).
3. Независимо от способа введения кальцинированной соды бетоны характеризуются высокой морозостойкостью F200.
4. Породные отвалы, металлургические шлаки и золошлаки ТЭС являются ценным источником вторичного сырья, которое можно достаточно эффективно использовать в дорожном строительстве.

Список литературы

1. Глуховский В.Д. Шлакощелочные цементы и бетоны. / В.Д. Глуховский, В.А. Пахомов. – Киев: «Будівельник», 1978. – 184 с.
2. ДБН Б В.2.3-4-2000. Автомобільні дороги. - К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 117 с.
3. ДБН В.2.3-5-2001. Улицы и дороги населенных пунктов. – К.: ГосстройУкраины, 2001. – 43 с.
4. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.:Стройиздат, 1981. – 224 с.

УДК 336.717

Шевченко Ольга Николаевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры прикладной химии;
Малинина Зинаида Захаровна,
кандидат химических наук,
доцент кафедры прикладной химии;
Новичков Артем Юрьевич,
студент группы ПГС 73б
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

Предложена система бесперебойного водоснабжения жилищного фонда, предусматривающая создание запасов воды в накопительно-раздаточных емкостях, включающая магистраль подачи воды с датчиком давления и блоком подготовки воды, накопитель с датчиком уровня воды, магистраль роздачи воды.

Ключевые слова: жилищный фонд, бесперебойное водоснабжение, запас воды, накопительно-раздаточные емкости

Во многих местах проживания человека, как постоянного, так и временного (вахтовый метод), остро стоит вопрос, связанный с водоснабжением. Источники воды, не имеющие достаточных резервных возможностей, не могут обеспечить жилища людей бесперебойной подачей воды. Вода подается с перебоями. Во многих районах установлен дискретный режим водоснабжения. Сегодня обеспечение бесперебойного водоснабжения является актуальной задачей для отдельных районов, но в скором будущем это может стать серьезной проблемой для большинства регионов проживания людей.

Принципиально возможны два пути решения проблемы бесперебойного водоснабжения: создание запасов воды или использование регенерационных процессов для воспроизводства воды.

Использование регенерационных процессов для воспроизводства воды в коммунальном хозяйстве сегодня невозможно в связи с их сложностью. Поэтому широкое распространение для бесперебойного водоснабжения находят устройства и системы, в которых предусматривается создание запасов воды в накопительно-раздаточных емкостях (накопителях воды) с последующей раздачей накопленной воды потребителям в случае перебоев основного водоснабжения [1-3].

Накопительная система водоснабжения включает: накопитель воды, магистраль подачи воды в накопитель, магистраль роздачи воды из накопителя потребителям и средство управления системой.

Характерной особенностью таких устройств и систем бесперебойного водоснабжения является спрос на них для самых разнообразных условий эксплуатации. Такие устройства и системы необходимы для бесперебойного водоснабжения как отдельной квартиры, так и группы квартир (подъезд дома), всего дома, группы домов. Понятно, что возможности накопления воды в системах в указанных случаях должны существенно отличаться. Практически для каждого случая необходима разработка и сооружение индивидуальной системы. Так, известная система водоснабжения [1], включает накопители воды, магистраль наполнения их водой, магистраль роздачи воды из накопителя. Количество накопителей воды в системе равно количеству пользователей воды. Каждый накопитель воды снабжен клапаном, который управляет верхним уровнем воды в накопителе. Система содержит пульт розлива воды, через который подключается приспособление наполнения системы водой и выводится информация об объеме использованной воды каждым пользователем.

Приспособление для наполнения системы водой представляет собой передвижную раздаточную емкость, которая присоединяется к пульту розлива воды с помощью гибкого трубопровода. Модифицированная система включает магистраль подачи воды с датчиком давления и блоком подготовки воды, накопитель с датчиком уровня воды, магистраль роздачи воды, блок управления и характеризуется тем, что дополнительно снабжена регулятором расхода воды и управляемым клапаном, включенными в магистраль подачи воды, водным затвором, вакуумным насосом и отсекающим клапаном. Водный затвор, выполненный в виде емкости, открытой сверху и расположенной под накопителем, с отверстиями для подведения и вывода воды, первый из которых соединен с магистралью подачи, а второй - с магистралью роздачи воды, накопитель выполнен в виде емкости с открытой горловиной отверстием в корпусе, расположенным с противоположной от горловины стороне и соединенным через отсекающий клапан с вакуумным насосом.

Однако, несмотря на высокий уровень техники, полностью отсутствуют сведения об унифицированных устройствах и системах бесперебойного водоснабжения, которые могли бы использоваться без существенных изменений в различных условиях их использования. Предложенная в нашем сообщении система водоснабжения [4], подобно описанным выше системам содержит емкость для резервирования воды, магистраль подачи воды и магистраль роздачи воды.

Магистраль подачи воды состоит из серии водозаборных трубопроводов, присоединенных к единому трубопроводу. Серия водозаборных трубопроводов обеспечивает возможность набора воды в систему из разных источников воды. Вода, поступающая по единому трубопроводу, проходит через блок анализа качества воды. О наличии воды в трубопроводе сигнализирует датчик давления. Вода после анализа ее качества поступает в блок подготовки воды. Из блока подготовки вода поступает в емкость резервирования (накопитель воды).

Магистраль роздачи воды состоит из насоса, водораздаточных трубопроводов для подачи воды потребителям. К потребителям вода может поступать подогретой с помощью, например, электрообогревателей неконтактного типа, непосредственно перед раздачей.

Все указанные выше узлы и элементы системы водоснабжения осуществляют свою работу по командам блока управления. В блок управления поступают сигналы от датчика давления, блока анализа качества воды, от датчика уровня воды. Блок управления анализирует сигналы и вырабатывает команды в зависимости от ситуации, которая создается в тот или иной момент при заборе воды.

Если забор воды проходит удовлетворительно, то вода проходит все стадии в магистрали подачи воды, далее проходит через накопитель воды к потребителям. Накопитель воды постоянно находится в наполненном состоянии. Если при заборе воды возникнут перебои, то блок управления вырабатывает информационный сигнал и на периоды перерывов включает насос для роздачи воды потребителям за счет воды, зарезервированной в накопителе.

Описанные выше действующие системы не являются унифицированными для различных условий использования в зависимости от расхода воды потребителями (отдельная квартира, группа квартир, дом, группа домов), а также от особенностей режима основного водоснабжения (продолжительность перебоев в подаче воды и др.). При логическом подходе к решению задачи бесперебойного водоснабжения следует, что чем больше потребителей воды подключено к системе, и чем больше продолжительность перебоев в подаче воды, тем большими возможностями должна обладать система накопления воды в общей системе водоснабжения. Опыт показывает, что система, в которой накопитель воды выполнен в виде единого резервуара заданного объема принципиально не может быть унифицированной для различных условий эксплуатации. Такая система может быть оптимальной только для определенных условий расхода воды и особенностей основного водоснабжения. В других случаях возможности накопления воды в такой системе будут недостаточными или

избыточными, что требует сооружения индивидуальной системы водоснабжения для каждого конкретного случая.

В основу разработанной нами модели поставлена задача усовершенствования системы водоснабжения, в которой конструктивные особенности обеспечивают унификацию системы для различных условий использования, которые отличаются затратами воды и режимом основного водоснабжения.

Поставленная задача решается тем, что в системе водоснабжения, которая включает накопитель воды, магистраль подачи воды в накопитель, магистраль раздачи воды из накопителя потребителям и средств управления системой, накопитель воды выполнен как набор модулей в виде емкостей, полости которых соединены между собой с образованием единого объема накопителя воды.

Существенные свойства модели находятся в причинно-следственной связи с техническим результатом, который достигается. Так изменение свойств накопителя воды, а именно использование накопителя, выполненного как набор модулей в виде емкостей, полости которых соединены между собой с образованием единого объема накопителя воды в совокупности с остальными существенными признаками, обеспечивает унификацию системы для различных условий использования, которые отличаются затратами воды и режимом основного водоснабжения.

Такой эффект объясняется тем, что модульное исполнение накопителя воды (накопитель воды представляет собой набор модулей в виде емкостей, полости которых соединены между собой с образованием единого объема) позволяет изменять возможности накопления воды в системе для различных условий ее использования простым увеличением или уменьшением количества модулей без существенных изменений системы, что обеспечивает унификацию системы. При сооружении системы водоснабжения рассчитывают и монтируют необходимое количество модулей в зависимости от расхода воды и особенностей основного водоснабжения. Кроме того, в уже существующих системах, построенных по указанному принципу, путем простого увеличения или уменьшения количества модулей обеспечиваются оптимальные возможности накопления воды в системе при изменении условий потребления воды или режима основного водоснабжения.

Список литературы

1. Пат. (19)Ru (11)2288999 Российская Федерация, 51(МПК) (13)C1 E03B1/04. (54) Способ водоснабжения и система для его осуществления Текст / Девяткин В.А., Серебренников С.Ю., Сакунков М.Л., Батракова Г.М.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет»; заявл. 28.04.2005; опубл. 10.12.2006.
2. Классы МПК: E03B1\04 для домового т.п. местного водоснабжения Способ водоснабжения и система его осуществления Текст / Коробков С.А. (Ru), Терещенко Г.О. (Ru); опубл. 10.03.2009
3. Изобретение: 19 SU, (11) 771313, (13) AI, (51) МПК E04H 12/30(2006.01) Водонапорная башня Текст / Кочетков В.Н.; опубл. 10.15.1980.
4. Пат. (11)37836 Украина, (51)МПК(2006). E0B1/00. (54) Система водопостачання Текст / Малінін Ю.Ю., ПА, Малиніна З.З., ПА, Малініна Т.Ю., ПА; заявители и патентообладатели Малінін Ю.Ю., ИД, МалинінаЗ.З., НА, Малініна Т.Ю., ПА; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23, 2008р.

УДК 696.2

Смирнова Яна Владимировна,
магистрант 2-го курса,
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Удовиченко Злата Викторовна,
к.т.н., доцент, доцент
кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ВНУТРИДОМОВЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

В данной статье рассмотрены современные проблемы безопасной эксплуатации внутридомового газового оборудования, проанализирована законодательная и нормативно правовая база, регулирующая вопросы в области надежной эксплуатации газового оборудования, предложены мероприятия по повышению безопасной эксплуатации внутридомового газового оборудования.

Ключевые слова: эксплуатация, газоснабжение, газовое оборудование, техническое обслуживание, инвентаризация, диагностика

Введение. В настоящее время остро стоит вопрос о безопасном использовании газа в быту. Неопределенность в классификации элементов внутридомового газового оборудования (далее-ВДГО) по факторам, которые влияют на межремонтные сроки, недостаток необходимой нормативной документации, отсутствие возможности замены изношенного оборудования у малообеспеченных слоев населения. Эти и многие другие остропроблемные вопросы привели к тому, что постепенно привычное для населения использование газа в быту становится, по сути, бомбой замедленного действия. Ежегодно увеличивается количество заявок, поступающих от абонентов на ремонт газового оборудования, растет число аварийных заявок на устранение утечек газа на газопроводах и запорной арматуре, все чаще происходят несчастные случаи – взрывы, пожары. Ситуация приобретает системный характер и ставит под угрозу безопасную поставку газа потребителям. Беспокойство вызывает и тот факт, что внутридомовые газопроводы и газовое оборудование жилых домов исключено из списка объектов повышенной опасности. Действие новых Норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности систем газоснабжения Донецкой Народной Республики» не распространяется на газопроводы и газовое оборудование жилых домов и как следствие не входит в компетенцию Гортехнадзора. В результате сложилась ситуация, при которой, в современной действительности, отсутствует специально уполномоченный орган, ведущий надзорную деятельность и осуществляющий регулярный мониторинг обеспечения мер безопасности при эксплуатации ВДГО.

Основное содержание. На сегодняшний день единственный вид оценки состояния ВДГО является планово-техническое обслуживание, состоящее из:

- планового технического обслуживания (ПТО);
- плановой проверки плотности ВДСГ и газовых приборов;
- технического обслуживания по заявкам (ТОЗ).

С одной стороны, такой вид обслуживания прост и доступен, так как работы производятся специализированным предприятием газового хозяйства за счет эксплуатационных расходов. С другой стороны, такой вид оценки состояния малоэффективен из-за ряда проблем, с которыми приходится сталкиваться газораспределительным предприятиям, в связи, с чем гарантировать безопасность при использовании газа в быту становится сложно. Проанализировав основные проблемы можно выделить ряд наиболее

существенных факторов, оказывающих значительное влияние на безопасную эксплуатацию ВДГО:

- газопроводы и газовое оборудование жилых домов, находятся в неудовлетворительном состоянии и/или с истекшим сроком эксплуатации;
- отсутствие контроля (надзора) со стороны государства за эксплуатацией ВДГО жилых домов;
- отсутствие необходимой правовой, нормативной и технической базы (пробелы законодательства или полное отсутствие нормативных документов);
- предоставление беспрепятственного доступа к газопроводам и газовому оборудованию работникам СПГХ для проведения технического обслуживания ВДГО;
- газоиспользующее оборудование не оснащено современными средствами безопасности, обеспечивающими прекращение подачи газа в аварийной ситуации;
- методы оценки состояния ВДГО устарели, не отвечают современным требованиям, не позволяют спрогнозировать возможные риски;
- не определены законодательно, лица, которым запрещено пользоваться газовыми приборами (недееспособные и/или частично дееспособные, состоящие на психоневрологическом и/или наркологическом учете).

Современные условия требуют пересмотра ряда нормативных документов, которые по своей сути устарели, а также разработки и внедрения новых методов оценки состояния с применением высокоточной аппаратуры. К таким методам относится техническое диагностирование ВДГО, при котором возможность определения остаточного ресурса безаварийной работы газовых приборов очень высока. Своевременное выявление дефектов, а также определение возможности дальнейшей эксплуатации газового оборудования в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями позволят существенно снизить риски возможных аварий. Внедрение новых современных методов поможет решить проблему безопасной эксплуатации внутренних газопроводов жилых домов, что в свою очередь позволит существенно снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций и инцидентов, а также исключить возможные человеческие жертвы. При этом по предварительным оценкам стоимость работ по комплексной диагностике вместе с последующим ремонтом будет ниже полной замены внутреннего газопровода приблизительно в 10-15 раз.

Таким образом, техническая диагностика позволяет не только своевременно локализовать неисправность, но и прогнозировать состояние объекта диагностирования на некоторое время вперед.

Проведен анализ нормативно правовых актов устанавливающих требования к процессам обеспечения безопасной эксплуатации ВДГО применяемых на территории Российской Федерации и ДНР, который приведен в таблице 1.

Количество вопросов, связанных с безопасной эксплуатацией внутридомового газового оборудования с каждым днем, растет, в том числе, в связи с недостаточной базой основных регулирующих документов, регламентирующих деятельность специализированных предприятий газового хозяйства на законодательном уровне. При этом в Республике резко возросло количество аварийных заявок на газопроводах и газовом оборудовании (таблица 2).

Таблица 1 - Анализ нормативно правовых актов, устанавливающих требования к процессам обеспечения безопасной эксплуатации ВДГО, применяемых на территории Российской Федерации и Донецкой Народной Республики

Наименование нормативно-правовых актов, регламентирующих обеспечение безопасной эксплуатации ВДГО	
на территории ДНР	на территории РФ
Положение о порядке эксплуатации и технического обслуживания внутридомовых систем газоснабжения жилых домов и общественных зданий (документ на регистрации)	Федеральный закон от 31.03.1999 № 69-ФЗ «О газоснабжении в Российской Федерации» Постановление Правительства РФ от 14.05.2013 № 410 «О мерах по обеспечению безопасности при использовании и содержании внутридомового и внутриквартирного газового оборудования при предоставлении коммунальной услуги по газоснабжению» Постановление Правительства РФ от 29.10.2011 № 870 «Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления»
	Приказ Министерства регионального развития РФ от 26.06.2009 № 239 «Об утверждении порядка содержания и ремонта внутридомового газового оборудования в Российской Федерации» Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 № 170 «Об утверждении правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда» «ГОСТ Р 54961-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы газораспределительные. Сети газопотребления. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация» (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 22.08.2012 № 251-ст) Правила пользования газом в быту. Утверждены приказом ВО «Росстройгазификация» при Совете Министров РФ № 86-П 26.04.1990 Методические рекомендации по контролю за техническим обслуживанием и состоянием внутридомового газового оборудования. Утверждены приказом Ростехнадзора №1001 от 02.12.2009 г.

Таблица 2 - Количество аварийных заявок на газопроводах и газовом оборудовании

№ п/п	Наименование показателей	Ед.изм.	2015	2016	2017	2018
1	- газопроводы и газовое оборудование жилых домов (в т.ч. счетчики газа)	шт.	1911	2240	2629	7580
2	- газопроводы и газовое оборудование общественных зданий предприятий коммунально-бытового назначения	шт.	47	51	114	469
Всего, шт.			1897	2232	2614	7411

На основании проведенного анализа сделан вывод, что для решения проблем необходима разработка нормативно-правовых актов и внедрение новых усовершенствованных технологий способных гарантировать безаварийную и безопасную эксплуатацию внутридомового газового оборудования. Наряду с решением задач повышения уровня технического обслуживания необходимо уделить особое внимание энергосбережению при потреблении газа

населением. В этом вопросе особую роль надо отвести государственной программе по оснащению приборами учета газа жилого фонда.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 14.05.2013 № 410 «О мерах по обеспечению безопасности при использовании и содержании внутридомового и внутриквартирного газового оборудования при предоставлении коммунальной услуги по газоснабжению». [Электронный ресурс]. URL: <http://gorgaz.tech/assets/files/Postanov14.05.2013%20N%20410.pdf>
2. Приказ Министерства регионального развития РФ от 26.06.2009 № 239 «Об утверждении порядка содержания и ремонта внутридомового газового оборудования в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/2324599/>
3. Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 № 170 «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12132859/>
4. «ГОСТ Р 54961-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы газораспределительные. Сети газопотребления. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация» (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 22.08.2012 № 251-ст). [Электронный ресурс]. URL: https://elitgaz.su/netcat_files/17/33/GOST_R_54961_Gazopotreblenie.pdf
5. Нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности систем газоснабжения Донецкой Народной Республики» НПАОТ 0.00-1.74-19 Утвержден Приказом Государственного Комитета Гортехнадзора ДНР от «14» марта 2019 г. № 159. [Электронный ресурс]. URL: http://gkgtn.ru/%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%A2%20_9.4.pdf

УДК 628.1

Дудник Анна Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры «Строительная инженерия и экономика»;
Золотухина Наталья Викторовна,
старший преподаватель кафедры
«Строительство и эксплуатация зданий и систем жизнеобеспечения»;
Сулима Виктория Викторовна,
студентка гр.41 СиЭЗиС
БПФ ГОУ «ПГУ им. Т.Г. Шевченко»

ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ, ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В данной статье рассмотрены проблем, возникающие в системах водоснабжения и водоотведения, а также пути их решения. Изучив проблемы, выявлены основные из них – это их обустройство, планировка и заморозки, необходима закупка качественных материалов, квалифицированная помощь в их установке и постоянный мониторинг за их состоянием. Также определены факторы старения коммунальных сетей водоснабжения и водоотведения, снижение их пропускной способности.

Ключевые слова: водоснабжение, водоотведение, проблемы, факторы, вода, качественные материалы

Водоснабжение и канализация – это, своего рода, кровеносные сосуды любого загородного дома. Каждый владелец сталкивался с проблемой прокладки инженерных сетей. Подавляющее большинство жителей коттеджей не используют централизованную систему подачи воды или канализации. Это связано из-за элементарного отсутствия, либо из-за дороговизны подключения к ней. Да и качество обслуживания порой оставляет желать лучшего. И не важно, о чем идет речь – трехэтажный кирпичный коттедж или маленький летний дом. Во всех случаях, обустройство коммуникаций отнимает много средств и времени. Обойтись без них можно, но крайне неразумно, особенно в наше время [3].

Как и любые сложные инженерные сооружения, водоотведение и водоснабжение имеют ряд сложностей и нюансов при монтаже, которые нужно учитывать. Начнем с подачи воды. Автономный источник подразумевает обустройство скважины или колодца на участке, и для их создания нужно вызывать спецтехнику и бригаду специалистов. Это хлопотное занятие, которое требует профессионального подхода, причем на всех стадиях – от обнаружения подходящего места до установки насоса [1].

Чтобы развести водопровод по дому требуется создание проекта. В нем должно быть учтено всё – количество конечных потребителей, потенциал к расширению и увеличению сети, сроки проживания (круглый год или дачный сезон). Самостоятельно его подготовить не получится – слишком много деталей и тонкостей, которые необходимо учесть. Это тоже своеобразная проблема.

Главный враг водоснабжения – это холод. Если вы живете зимой в загородном доме, то проблем возникнуть не должно – достаточно утеплить трубы специальным материалом, который обеспечит сохранность коммуникаций. Но если после окончания дачного сезона вы покидаете дом, то следует слить воду и просушить все трубы, чтобы в них не осталась влага. Даже небольшое количество конденсата, который образуется на внутренней поверхности труб, замерзнет и возникнет риск разрыва. С приходом весны, когда вы включите систему, давление резко упадет и появится протечка в самом неподходящем месте. Поэтому не забудьте полностью отключить все соединения, хорошенько просушить и вычистить трубы перед наступлением холодов. Так вы избежите проблем по весне.

Еще одна проблема водоснабжения после зимней паузы – грязь, скопившаяся в почве из-за таяния льдов и снега. Из скважины выкачиваются грунтовые воды, которые пополняются,

в том числе, за счет осадков. Зимой снег собирает в себе все вредные вещества, которые только могут содержаться в атмосфере, а с первым теплом он тает и поступает в почву. Не забывайте, что вода не прокачивалась долгие месяцы, а значит, успела застояться. В сумме эти факторы дают проблему, с которой можно столкнуться после первого в новом году включения воды – неприятный запах, нехарактерный цвет и мелкие хлопья ила. Не стоит переживать – это нормальное явление, особенно для скважины в песке. Достаточно просто прокачать воду в течение недели, открыв кран на полтора-два часа в день. Спустя 7-10 дней вода приобретет нормальный оттенок и исчезнут все посторонние фракции.

С системой водоотведения всё несколько иначе. Домовладельцы предпочитают делать ее безнапорной, то есть самотечной. Вся отработанная жидкость стекает из дома без использования насоса. Проблема в том, где именно она собирается. Как говорилось ранее, централизованной системой пользуются немногие, поэтому каждый хозяин выкручивается как может. Наиболее оптимальным решением является обустройство несложной колодезной системы. Необходимо предусмотреть, чтобы все стоки сливались в одну трубу, которая бы уходила в колодец, глубина которого зависит от объемов, потребляемых жильцами. Может появиться риск просадки и деформации всего строения из-за повышенной влажности, поэтому размещать его нужно подальше от фундамента. Все стоки обрабатываются активными бактериями и растворяются в почве, превратившись в техническую воду.

Можно соорудить септик – элемент местного очистного сооружения. По сути, это бак определенного размера, куда сливаются все отходы жизнедеятельности в доме. В таком контейнере они отстаиваются (отсюда септик и получил название – «отстойник»), и методом биологической очистки (с помощью системы фильтров или активных бактерий) превращаются в достаточно чистую жидкость. Употреблять заново эту воду нельзя, но сливать в почву можно – там вода пройдет несколько степеней природной фильтрации.

Подведем итог. Основные проблемы систем водоснабжения и водоотведения – это их обустройство, планировка и заморозки. Без составления внятного проекта и правильной подготовительной работы сложно смонтировать рабочую инженерную сеть. Обустройство скважины, разведение водопровода по дому и водоотведение – это сложные инженерные решения. Для каждого этапа необходима закупка качественных материалов, квалифицированная помощь в их установке и постоянный мониторинг за их состоянием. Если всё будет сделано с умом, то жизненно важные коммуникации не подведут вас очень и очень долго.

Старение коммунальных сетей водоснабжения и водоотведения, снижение их пропускной способности наступает зачастую уже через 5-10 лет после прокладки из-за влияния отдельных или совокупности ряда следующих факторов:

- коррозии стенок;
- агрессивного характера вод;
- нарушения условий прокладки трубопроводных систем в соответствующих грунтах;
- избыточных напоров;
- несоответствия материала труб условиям эксплуатации;
- резких сезонных перепадов температур и других факторов [2].

Старение подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения приводит:

- из-за зарастания труб - к потерям напора и снижению пропускной способности;
- к возможности повторного заражения вод (в результате трещин, свищей, нарушения стыковых соединений в случае старения сетей питьевого водоснабжения);
- по причине коррозии - к ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды (например, цветности);
- к загрязнению подземных и поверхностных вод, почв, атмосферы (в случае старения водоотводящих сетей бытовой, дождевой и производственной канализации).

Утечки воды, вызванные старением трубопроводов, являются также причиной поднятия уровня грунтовых вод, что может привести к интенсивному разрушению действующих зданий и сооружений.

Список литературы

1. Колова А.Ф. Водоснабжение и водоотведение. Учебное пособие / А.Ф. Колова, Т.Я. Пазенко // – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 148 с.
2. Особенности реконструкции наружных водопроводных и водоотводящих сетей. [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/989952/page:2/>
3. Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ (ред. от 25.12.2018) «О водоснабжении и водоотведении». Статья 2. Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе.

УДК 628.355.2

Сюзьева Валерия Сергеевна,
Янченко Максим Викторович,
магистранты кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов;
Рожков Виталий Сергеевич,
к.т.н., доцент кафедры водоснабжения,
водоотведения и охраны водных ресурсов
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АКТИВНОГО ИЛА В ПОРЦИОННОМ РЕАКТОРЕ

Различные условия и факторы влияют на степень и скорость, с которой задействованные соединения и загрязняющие вещества удаляются микробными популяциями в системах биологической очистки сточных вод. В данной статье представлен обзор методики лабораторных исследований показателей активного ила в порционном реакторе, описаны устройство и характеристики реактора.

Ключевые слова: реактор, усовершенствованное биологическое удаление фосфора (EBPR)

В любой биологической системе очистки сточных вод возникнет необходимость в оценке, определении и понимании производительности установки в отношении удаления определенных загрязняющих веществ и реакции ила на ингибирующие или токсичные соединения, представляющие интерес. С точки зрения моделирования также представляет интерес оценка и определение стехиометрии и кинетических скоростей процессов, выполняемых конкретными микробными популяциями.

Характер и тип лабораторных исследований могут различаться в зависимости от представляющих интерес соединений, а также от метаболизма и физиологии микробных популяций, участвующих в процессах удаления или превращения. Например, они могут варьироваться от относительно простых аэробных тестов, в которых измеряется удаление органического вещества с помощью ОНО, до более сложных чередующихся анаэробно-аноксидно-аэробных периодических тестов для оценки активности РАО при наличии различных акцепторов электронов (таких как нитрат, нитрит и кислород) из систем активного ила, обеспечивающих усовершенствованное биологическое удаление фосфора.

Усовершенствованное биологическое удаление фосфора (EBPR) может быть внедрено в систему очистки сточных вод с активным илом путем введения анаэробной стадии в начале линии очистки сточных вод. Повышение эффективности Р-удаления, уменьшение эксплуатационных расходов, уменьшение количества образующегося осадка и потенциальное восстановление фосфора способствовали его внедрению и популяризации [3, 2,6]. Усовершенствованное биологическое удаление фосфора выполняется фосфор аккумулирующими организмами (РАОs) [1,3] за счет внутриклеточного накопления полифосфатов (поли-Р), возможно удаление большего количества фосфора (0,35-0,38 г Р г VSS-1 РАО), чем обычные гетеротрофные микроорганизмы (ОНО (0,03 г Р г VSS-1 ОНОs) [8]. Научные, микробиологические и инженерные характеристики процесса EBPR были в центре исследований, проведенных в последние несколько десятилетий различными исследовательскими группами [3,4,5,6,7]. В частности, усилия сосредоточены на развитии лучшего понимания фактических метаболических механизмов EBPR, чтобы разобраться с микробиологическими отличительными чертами задействованных микроорганизмов, и оптимизировать необходимые конфигурации процесса, все с целью улучшения и расширения процесса EBPR эффективности и надежности.

Для определения и оценки метаболической активности РАО различные стехиометрические соотношения и кинетические скорости для анаэробных, аноксических и аэробных стадий могут быть оценены на основе данных, полученных при выполнении тестов периодической активности. Таблица 1 показывает описание ожидаемых основных параметров.

Таблица 1. Стехиометрические и кинетические параметры активного ила, выполняющего EBPR

Параметр	Символ	Мольная ед.изм.	Массовая ед.изм.
1	2	3	4
АНАЭРОБНЫЕ ПАРАМЕТРЫ			
<i>Стехиометрические</i>			
Отношение анаэробного выделения ортофосфата к поглощению ЛЖК	YVFA_PO4,An	P-моль C-моль ⁻¹	мг P мг ЛЖК ⁻¹
Отношение анаэробного потребления гликогена к поглощению ЛЖК	YGly/ VFA,An	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг ЛЖК ⁻¹
Отношение анаэробного выделения РНА к потреблению ЛЖК	YVFA_PHA,An	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг ЛЖК ⁻¹
Отношение анаэробного выделения РНВ к потреблению ЛЖК	YVFA_PHB,An	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг ЛЖК ⁻¹
Отношение анаэробного выделения РНУ к потреблению ЛЖК	YVFA_PHV,An	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг ЛЖК ⁻¹
РН2MV к потреблению ЛЖК	YVFA_PH2MV,An	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг ЛЖК ⁻¹
Отношение анаэробного выделения РНУ к выделению РНВ	YPHV/PHB,An	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг C ⁻¹
<i>Кинетические</i>			
Максимальная удельная скорость анаэробного поглощения ЛЖК	qVFA,An	C-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг ЛЖК мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Максимальная удельная скорость анаэробного выделения PO4	qPP_PO4,An	P-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг P мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Максимальная удельная скорость анаэробного выделения РНА	qVFA_PHA,An	C-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг РНА мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Скорость анаэробного высвобождения связанного PO4	mPP_PO4, An	P-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг P мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Коэффициент анаэробного высвобождения связанного АТР	mATP,An	моль АТР C ⁻¹ h ⁻¹	мг АТР мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Скорость вторичного анаэробного высвобождения PO4	mPP_PO4,Sec,An	P-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг P мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
АНОКСИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ			
<i>Стехиометрические</i>			
Отношение аноксического разложения РНА к потреблению NOX	YNOx_PHA,Ax	C-моль N-моль ⁻¹	мг C мг NOX ⁻¹
Отношение аноксического образования гликогена к потреблению NOX	YNOx_Gly,Ax	C-моль N-моль ⁻¹	мг C мг NOX ⁻¹

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
Отношение аноксического образования полифосфатов к потреблению NOX	YNO _x _PP,Ax	P-моль N-моль ⁻¹	мг P мг NOX ⁻¹
Отношение аноксического роста биомассы к потреблению NOX	YNO _x ,Bio,Ax	C-моль N-моль ⁻¹	мг C мг NOX ⁻¹
Отношение аноксического образования гликогена к потреблению PHA	YPHA_Gly,Ax	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг C ⁻¹
Отношение аноксического образования полифосфатов к потреблению PHA	YPHA_PP,Ax	P-моль C-моль ⁻¹	мг P мг C ⁻¹
Отношение аноксического роста биомассы к потреблению PHA	YPHA_Bio,Ax	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг C ⁻¹
<i>Кинетические</i>			
Максимальная удельная скорость аноксичного разложения PHA	qPHA,Ax	C-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг PHA мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Максимальная удельная скорость аноксичного получения гликогена qPHA	Gly,Ax	C-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг Gly мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Максимальная удельная скорость аноксичного получения полифосфатов	qPO ₄ _PP,Ax	P-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг PP мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Максимальная удельная скорость аноксичного роста биомассы	qBio, Ax	C-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг биомассы мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Коэффициент аноксичного поддержания АТР	mATP,Ax	моль АТР C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг АТР мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
Скорость аноксичного эндогенного дыхания	mNO _x	N-моль C-моль ⁻¹ h ⁻¹	мг NO _x мг биомассы ⁻¹ h ⁻¹
АЭРОБНЫЕ ПАРАМЕТРЫ			
<i>Стехиометрические</i>			
Отношение аэробного разложения PHA к потреблению O ₂	YPHA	C-моль моль O ₂ ⁻¹	мг C мг O ₂ ⁻¹
Отношение аэробного образования гликогена к потреблению O ₂	YGly	C-моль моль O ₂ ⁻¹	мг C мг O ₂ ⁻¹
Отношение аэробного образования полифосфатов к потреблению O ₂	YPP	P-моль моль O ₂ ⁻¹	мг P мг O ₂ ⁻¹
Отношение аэробного роста ФАО биомассы к потреблению O ₂	YPAO	C-моль моль O ₂ ⁻¹	мг C мг O ₂ ⁻¹
Отношение аэробного образования гликогена к потреблению PHA	YPHA_Gly,Ox	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг C ⁻¹
Отношение аэробного образования полифосфатов к потреблению PHA	YPHA_PP,Ox	P-моль C-моль ⁻¹	мг P мг C ⁻¹
Отношение аэробного роста ФАО биомассы к потреблению PHA	YPHA_Bio,Ox	C-моль C-моль ⁻¹	мг C мг C ⁻¹

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
<i>Кинетические</i>			
Максимальная удельная скорость аэробного разложения РНА	$q_{\text{РНА,Ох}}$	$\text{С-моль С-моль}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{мг РНА мг биомассы}^{-1} \text{ h}^{-1}$
Максимальная удельная скорость аэробного получения гликогена	$q_{\text{РНА_Gly,Ох}}$	$\text{С-моль С-моль}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{мг Gly мг биомассы}^{-1} \text{ h}^{-1}$
Максимальная удельная скорость аэробного получения полифосфатов	$q_{\text{PO4_PP,Ох}}$	$\text{Р-моль С-моль}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{мг РР мг биомассы}^{-1} \text{ h}^{-1}$
Максимальная удельная скорость роста аэробной биомассы	$q_{\text{Bio, Ох}}$	$\text{С-моль С-моль}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{мг биомассы мг биомассы}^{-1} \text{ h}^{-1}$
Коэффициент аэробного поддержания АТР	$m_{\text{АТР,Ох}}$	$\text{моль АТР С-моль}^{-1} \text{ ч}^{-1}$	$\text{мг АТР мг биомассы}^{-1} \text{ h}^{-1}$
Скорость аэробного эндогенного дыхания	m_{O_2}	$\text{моль O}_2 \text{ С-моль}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{мг O}_2 \text{ мг active biomass}^{-1} \text{ h}^{-1}$

Для оценки показателей процесса EBPR, лабораторные модельные эксперименты могут проводиться в анаэробных, аэробных и аноксических условиях в зависимости от интересующих параметров и характеристик исследований. В любом случае реакторы, используемые для проведения испытаний, должны: (1) избегать попадания кислорода при анаэробных и аноксических условиях, (2) обеспечить достаточную аэрационную мощность для поддержания концентрации растворенного кислорода выше чем 2 мг/л после аэробной стадии, обеспечивать равномерное перемешивание, позволять контролировать температуру, рН, и иметь отверстия для отбора проб и подачи сточной жидкости, растворов, газов и любых других жидких носителей или субстратов, используемых в ходе исследования.

Характеристики устройства реактора и материалы, необходимые для выполнения периодических тестов активности:

1. (Герметичный) биореактор периодического действия или ферментер, оборудованный системой перемешивания и соответствующими отверстиями для отбора проб.

2. Подача газообразного азота (рекомендуется).

3. Подача кислорода (сжатый воздух или источники чистого кислорода).

4. рН-электрод (если он не включен / не встроен в комплект периодического биореактора).

5. Двухсторонний регулятор рН с помощью добавления HCl и NaOH (в качестве альтернативы можно применять односторонний контроль - обычно для добавления HCl - или ручной контроль рН с помощью ручного добавления HCl и NaOH).

6. Термометр (рекомендуемый диапазон рабочих температур от 0 до 40 ° C).

7. Система контроля температуры (если она не включена в настройку биореактора периодического действия).

8. Измеритель DO с электродом (если он не включен в комплект периодического биореактора).

9. Автоматический двухсторонний регулятор растворенного кислорода с помощью подачи азота и газообразного кислорода (если он не включен в устройство периодического биореактора и если испытания должны проводиться при определенной концентрации растворенного кислорода).

10. Центрифуга с рабочим объемом не менее 250 мл для проведения процедуры промывки ила (при необходимости).

Вывод.

Таким образом, выполнение исследований на лабораторных установках может быть весьма полезным для: изучения биоразлагаемости сточных вод (муниципальных или промышленных); определения стехиометрических и кинетических параметров, участвующих в конверсии конкретного соединения; изучения потенциальных взаимодействий (например, симбиоз и конкуренция) между популяциями микробов; оценки потенциального ингибирующего или токсического воздействия определенных сточных вод, соединений или веществ.

Список литературы

1. Comeau, Y., Rabionwitz, B., Hall, K.J. and Oldham, W.K. Phosphate release and uptake in enhanced biological phosphorus removal from wastewater. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 59(7), 1987. – P. 135-142.
2. Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A. and Brdjanovic, D. *Biological wastewater treatment. principles, modelling and design*. ISBN. 9781843391883, IWA Publishing, London, UK, 2008. – 528 p.
3. Mino, T., van Loosdrecht, M.C.M. and Heijnen, J.J. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. *Water Research*, 32(11), 1998. - P. 681-691.
4. Nielsen, P.H., Mielczarek, A.T., Kragelund, C., Nielsen, J.L., Saunders, A.M., Kong, Y., Hansen, A.A. and Vollertsen, J. A conceptual ecosystem model of microbial communities in enhanced biological phosphorus removal plants. *Water Research* 44(17), 2010. – P. 385-406.
5. Oehmen, A., Yuan, Z., Blackall, L.L. and Keller, J. Comparison of acetate and propionate uptake by polyphosphate accumulating organisms and glycogen accumulating organisms. *Biotechnology and Bioengineering*, 91(2), 2005. – P. 7633-7644.
6. Oehmen, A., Lemos, P.C., Carvalho, G., Yuan, Z., Keller, J., Blackall, L.L. and Reis, M.A. Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale. *Water Research*, 41(11), 2007. – P. 2271-2300.
7. Wentzel, M.C., Dold, P.L., Loewenthal, R.E., Ekama, G.A. and Marais, G.v.R. Experiments towards establishing the kinetics of biological excess phosphorus removal. In. *Biological phosphate removal from wastewaters. Proceedings of an IAWPRC Specialized Conference, Rome, Italy, September 28-30, 1987*. – P. 364–368.
8. Wentzel, M.C., Comeau, Y., Ekama, G.A., van Loosdrecht, M.C.M. and Brdjanovic, D. Enhanced biological phosphorus removal. In. *Biological wastewater treatment. principles, modelling and design*, Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A. and Brdjanovic, D. (Eds.), ISBN. 9781843391883, IWA Publishing, London, UK, 2008. – P. 1005-1013.

УДК 697.241

Золотухина Наталья Викторовна,
ст. преподаватель кафедры
«Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»;
Дудник Анна Вячеславовна,
ст. преподаватель кафедры «Строительная инженерия и экономика»;
Тельпиз Сергей Михайлович,
студент гр.41, спец. СиЭЗиС
БПФ ГОУ «ПГУ им. Т.Г. Шевченко»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

В данной статье рассмотрены энергоэффективные технологии при проектировании гражданских зданий и энергоэффективная техника, а именно конденсационные котлы.

Ключевые слова: проектирование энергоэффективности зданий, энергоресурсы, энергоэффективная техника, конденсационный котел

Современное строительство – это современная архитектура, современные материалы, современные технологии и современный дизайн, но в то же время, со счетов не сбрасываются те стили, стройматериалы и технические решения, которые уже проверены временем и отлично себя зарекомендовали в строительной сфере. При наличии большого количества традиционных строительных материалов и техники, все равно каждый год появляются новые технологии и инновации. В новом тысячелетии тенденции к инновациям увеличиваются большими темпами, возрастает стремление приобрести что-то новое или усовершенствовать, или коренным образом изменить традиционный материал, технику или технологию, в частности в области энергоэффективности, ресурсосбережении, уменьшения количества вредных веществ.

Энергосберегающий дом – это не идеализированное представление дома будущего, а сегодняшняя реальность, которая приобретает не только большую популярность, но и жизненную необходимость. Энергосберегающим, энергоэффективным, пассивным домом или экодомом сегодня называют такое жилище, которое требует минимум расходов на его содержание, а также на поддержание комфортных условий проживания в нем. Достигается это путем соответствующих решений в сфере отопления, освещения, утепления и строительства [2].

«Энергетическая эффективность здания — это свойство зданий и их инженерных систем потреблять минимальный уровень тепловой энергии, обеспечивая при этом комфортный внутренний микроклимат помещений. Независимо от реализации совокупности нормативных, организационных, технических и процессуальных мер с целью повышения энергоэффективности здания, снижения потребления топливно-энергетических ресурсов все мероприятия должны особо учитывать вопросы охраны окружающей среды» [5].

Проектирование зданий относится к всесторонним и творческим видам деятельности, которое направлено на создание реальных объектов с определенными функциональными, техническими, экономическими, экологическими и потребительскими качествами. «Идеальный энергоэффективный дом, по мнению многих исследователей, должен быть независимой энергосистемой, которая будет поддерживать комфортный для эксплуатации температурно-влажностный режим, практически не требующий расходов на эксплуатацию» [5]. Но в городской застройке не всегда получается прийти к идеальности, но при проектировании к этому обязательно необходимо стремиться, максимально внедряя энергосберегающие технологии в проектируемые объекты.

Внедрение энергосберегающих технологий, техники и материалов, а также повышение энергоэффективности объектов строительной индустрии можно считать одним из основных

направлений современного развития мировой экономики и строительства. Вероятность возможного дефицита энергетических ресурсов приводит к значительному увеличению их стоимости при существующих объемах и темпах роста потребления. «Под энергосберегающими технологиями понимают различные производственные и бытовые процессы, направленные на уменьшение потребления материалов и энергоресурсов в расчёте на единицу выпускаемой продукции, либо на единицу затрачиваемой энергии – тепловой или электрической. Принципиально возможны два пути энергосбережения - либо затрачивать меньше не возобновляемых энергоносителей (газа, угля, нефти), либо более эффективно их использовать» [5].

Снижение энерго-ресурсоёмкости - задача многокомпонентная, касающаяся, как сферы проектирования, так и эксплуатации строительных конструкций, в конкретном случае зданий гражданского назначения. На этапе проектирования главным фактором становится обеспечение рационального энерго-экономического, как конструктивного, так и объемно-планировочного, решения здания. Применение новых строительных материалов, изделий и конструкций, понижение плотности, малой теплопроводности, обладающей высоким коэффициентом сопротивления теплопередаче. В период эксплуатации, необходимо предусмотреть энергоэффективное оборудование, системы энергообеспечения, регулируемые системы, в том числе и нетрадиционные. В любом случае приоритетным направлением развития строительных материалов, изделий конструкций и оборудования будет базироваться на энергосберегающих технологиях в соответствии с рисунком 1 [5].

Перспективной строительной энергосберегающей технологией является установка в гражданских зданиях энергоэффективной техники. Одним из современных образцов такой техники является конденсационный котел. Монтаж подобного оборудования в низкотемпературный узел обеспечивает высокие показатели КПД, которые достигают отметку 100% и по некоторым источникам, даже ее превосходят, а также считается самым эффективным способом отопления и вентиляции, при котором используется газовое топливо.

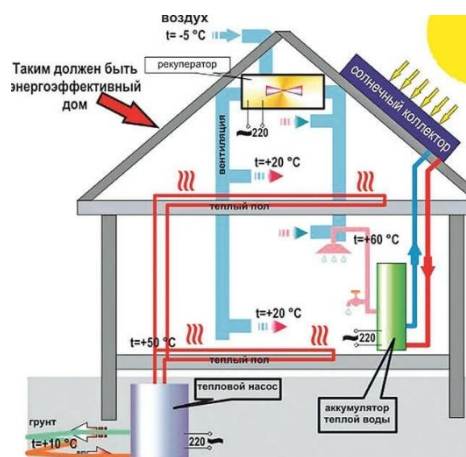


Рисунок 1 - Примар энергоэффективного дома

Стремительное развитие технологий заставило современных ученых вплотную подойти к модернизации привычных систем отопления. Это привело к появлению нового типа обогревателей - конденсационного котла. Причиной номер один, как ни странно, было и есть желание сохранить окружающую среду. Желание заботиться об окружающей среде рождается в головах не только европейцев, но и в странах востока. Китайцы, например, шагнув за последние тридцать лет во многих вопросах из 17-го века сразу в век 21-й, и в технологиях отопления пытаются перепрыгнуть из века угольных и керосиновых печек в век ветрогенераторов, солнечных станций и конденсационной техники. Вторая причина — это

цена на газ. Архитекторы и инженеры-проектировщики ищут решения, позволяющие минимизировать будущие счета владельцев жилых зданий. Третья причина — доступность. Около десятка лет назад конденсационный котёл стоил в пять-шесть раз дороже обычного, конвекционного. Но с каждым годом число предложений на рынке увеличивалось, технологии становились дешевле, что значительно сократило разницу в стоимости. Кроме того, производителям удалось достичь желаемого уровня качества, как отдельных узлов, так и конструкции в целом. Производители котлов утверждают, что по параметрам надёжности, ресурсу, эффективности элементы конструкции конденсационных котлов имеют потенциал к совершенствованию в отличие от таковых у конвекционных приборов [4].

Идея использовать теплоту конденсации, или, как её ещё красиво называют, скрытую теплоту фазового перехода, не является новой. Это явление встречается более 100 лет в холодильных машинах. Однако в отопительной технике до последнего времени традиционные, они же конвекционные, котлы вполне удовлетворяли потребителей в качестве простого и надёжного генератора тепла [1]. Но в нынешний век энергосбережения и охраны окружающей среды, стремятся инновационную энергоэффективную технику сделать более доступной.

Рассмотрим устройство конденсационного газового котла, так как данная техника интересует широкую аудиторию потребителей. Связано это с тем, что в последнее время такие системы перестали казаться атрибутом роскоши, а составили достойную конкуренцию традиционным установкам.

Конденсационные котлы представляют собой усовершенствованную версию обычного котла конвекционного типа. В качестве источника энергии для таких установок задействуется газ в двух формах: природный (магистральный), сжиженный (баллонный).

Как работает конденсационный котел и в чем заключаются принципиальные отличия от традиционных установок? После отработки основной процедуры сгорания топлива и передачи выделенного тепла аппарат начинает автоматически остужать газообразные продукты до отметки $+50...+60^{\circ}\text{C}$, т.е. до начала конденсации воды. Когда достигается температурный режим $+56^{\circ}\text{C}$ (так называемая «точка росы»), жидкость начинает переходить из парообразного состояния в конденсированное. Именно в это время начинается выделение дополнительной энергии, которая не выходит за пределы помещения через дымоход, а идет на обогрев труб. Это значит, что котел буквально «забирает» 10% тепла (остаток из 90% КПД, выделенных традиционными котлами) и передает их теплоносителю [3].

Конструкционные особенности конденсационного газового котла. Что касается конструкции котла отопления, то она мало чем отличается от обычного газового. Тем не менее, некоторые отличия все-таки присутствуют, и их роль очевидна [3]. К ключевым элементам системы следует отнести:

- камеру сгорания топлива с горелкой, вентиляционным оборудованием и элементом подачи топливной смеси;
- первичный теплообменник;
- камеру охлаждения смеси до температуры, равной «точке росы» ($+56...+57^{\circ}\text{C}$);
- вторичный теплообменник, в котором осуществляются конденсационные процессы;
- емкость для хранения конденсата;
- дымоходная труба, по которой происходит отвод холодных дымовых газов;
- насос для циркуляции жидкости в системе (рисунок 2).



Рисунок 2 - Конденсационный котел

Список преимуществ конденсационных котлов очень обширный, что объясняет высокую популярность такой разновидности обогревательных систем. К ключевым плюсам можно отнести:

- экономичность, если сравнивать конденсационные котлы с обычными конвекционными моделями, то они потребляют на 35% меньше топлива, что позволяет существенно снизить расходы на обогрев помещения;
- экологичность, процент сокращения вредных выбросов достигает 70% в сравнении с традиционными газовыми установками;
- возможность установки дымоходов из пластика из-за низкой температуры отходящих газов, к тому же пластиковые модели существенно дешевле классических стальных;
- тихая работа, которая повышает уровень комфорта проживания в помещении [3].

Что касается расхода топлива, то он определяется и мощностью оборудования, и нагрузкой, которая возлагается на котел. Чтобы полностью обогреть жилище площадью 250 м² достаточно 28-киловаттного котла с расходом топлива 2,85 м³/ч. Для сравнения, классические газовые агрегаты будут требовать не меньше 3,25 м³/ч. Следовательно за полгода эксплуатации экономия средств составит около 600 руб. ПМР.

Еще для примера, возьмём некий традиционный котёл с полезной тепловой мощностью 24 кВт. Минимальная мощность, которую он может выдать 11 кВт. Но для небольшого дома площадью 80 м² такого количества теплоты избыточно. В результате дом перегревается, потребителю некомфортно, он открывает форточки, но при этом продолжает тратить газ. Конденсационный котёл можно настроить так, чтобы он работал в пределах 4–12 кВт. И дело здесь в теплообменнике, применяемом в таком теплогенераторе. Конструкции теплообменников у разных производителей отличаются, но их общее «идейное» отличие от стальных и чугунных, применяемых в традиционной технике, — это устойчивость к конденсату. При меньшей мощности ниже температура, следовательно, там и конденсат, которого традиционные сталь и чугун боятся. Для небольшого дома подойдёт самое распространённое и простое решение - конденсационный настенный котел с «полной комплектацией», включающей насос, расширительный бак, элементы безопасности и управления.

Минимальный объем вредных выбросов — это еще один важный плюс системы. Во время сгорания органической топливной смеси происходит образование углекислого газа, который вырабатывает углекислоту. К тому же, в любых топливах присутствуют химические соединения серы, азоты, фосфора и многих других элементов, которые при контакте с водой тоже дают кислоты. Обычные газовые котлы выбрасывают пары воды с различными примесями в воздух, загрязняя его. У конденсационных установок этот минус отсутствует, т.к. все кислоты не покидают конденсат. Любой конденсационный котёл позволяет изменять

настройки в зависимости от давления газа в системе, от конфигураций системы отопления, от дополнительных устройств дистанционного управления и контроля. Все эти параметры можно настроить до начала работы, чтобы добиться максимальной его эффективности [4].

Несмотря на массу плюсов, у конденсационных котлов есть и весомые недостатки. Некоторые из них заставляют потребителей отказаться от своего выбора и искать другие варианты: высокая стоимость оборудования; низкий тепловой потенциал при эксплуатации в высокотемпературных системах; сложности утилизации конденсата; высокая чувствительность к качеству забираемого воздуха [3].

И в заключении важно отметить, несмотря на большую начальную стоимость котла, в дальнейшем его цена окупится в минимальные сроки меньшими затратами на оплату за газ. Ведь идея использования конденсации появилась от желания сделать экономичный и эффективный генератор тепла, который, как показывает опыт применения оборудования на готовых объектах, позволяет снизить затраты на газ до 15% (при правильном расчёте и грамотной эксплуатации), а при сравнении данного котла не с современной моделью обычного котла, сроком выпуска конца прошлого столетия, то экономия достигнет 30%.

Список литературы

1. Беляев, В.С. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий. Учеб пособие для студ. вузов по спец. "Промышленное и гражданское строительство" / В.С. Беляев, Л.П. Хохлова. —М.: Высш. шк., 1991. - 255с.
2. Девять передовых технологий энергосберегающих домов. [Электронный ресурс] URL: <http://remstroiblog.ru/>
3. Принцип работы и преимущества конденсационного газового котла [Электронный ресурс] URL: <https://kaminguru.com/kotel/preimushhestva-kondensacionnogo-gazovogo-kotla.html>
4. Конденсационные против обычных. [Электронный ресурс] URL: <https://www.viessmann.ru/ru/prensa/ezednevnaa-pessapublicnye-izdania/Presse-160901.html>
5. Лазарева А.А. Внедрение энергосберегающих технологий и материалов в проектирование и строительство зданий и сооружений/ Евразийский научный журнал №6, 2018. URL: <http://journalpro.ru/articles/>

УДК 504

Хардилов Николай Николаевич,
магистрант кафедры техносферной безопасности
ГОУ ВПО «ДОННАСА»

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕРНОКИСЛЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ ОТХОДОВ НА ЛИТОСФЕРУ ГОРОДОВ

В данной статье изучено воздействие сернокислых отходов аккумуляторных батарей на педосферу, атмосферу и биосферу, в частности биоту почвенного слоя. Определены основные негативно действующие на компоненты биосферы факторы при неконтролируемом поступлении отходов аккумуляторного электролита в почву.

Ключевые слова: отходы сернокислые; почвенный слой; токсичность; тяжелые металлы; оценка воздействия

Неблагоприятная экологическая ситуация, сложившаяся в последнее время, особенно в густонаселенных регионах и крупных городах, заставляет обратить особое внимание на проблему утилизации миллионов единиц ежегодно выходящих из строя свинцовых аккумуляторных батарей. Масштабы техногенной проблемы достигли такого уровня, что обращение с этим видом отходов требует принятия срочных действенных мер, которые позволят предотвратить опасное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. Экологическая опасность отходов аккумуляторных автомобильных батарей заключается в токсичности содержащегося в батареях свинца и химической агрессивности сернокислого кислого электролита. Главная, трудно контролируемая и наиболее опасная в экологическом плане реальность – неконтролируемое размещение отработавших свой ресурс аккумуляторных батарей на придомовых территориях, возле площадок для сбора мусора, возле мест обслуживания автомобилей.

Влияния сернокислых отходов на окружающую среду следует классифицировать как влияние химической природы. Это предопределяется химическим взаимодействием компонентов, входящих в состав отработанного электролита, и компонентов окружающей среды. Проведение процедуры оценки воздействия на окружающую среду требует изучения влияния отходов на такие компоненты окружающей среды как: геологическая среда и земельные ресурсы, гидросфера, растительный и животный мир, атмосферный воздух.

Проведенный научный поиск показал, что влияния этого класса не действуют непосредственно на рельеф и геодинамические процессы, а действуют лишь на компоненты веществ геологической среды [5, 12]. Характерным признаком воздействия отходов аккумуляторного электролита на почвы является воздействие сернокислых растворов, которые, подкисляя среду, позволяют перейти тяжелым металлам в почвенный раствор [3]. Вредные химические вещества в составе подвижных соединений способны непосредственно усваиваться растениями на месте загрязнения [4,8], переходить в состав атмосферы или гидросферы, затем поступать в живые организмы или переноситься, водными потоками в зоны аккумуляции. В результате ими оказывается как прямое, так и косвенное вредное воздействие на живые организмы (в том числе и на человека [9,10]). Значительное повышение концентрации ТМ в элюате наблюдается с показателей кислотности почвы соответствующих рН 5,5-5,9 по солевой вытяжке, или рН 6,8-7,0 – по водной. В частности, при обследовании почв [1] было обнаружено, что, невзирая на значительную разницу в гранулометрическом составе, содержание ТМ в надземной части трав не имело существенных изменений из-за того, что транслокация сдерживалась щелочной (рН 7,8-8,1) реакцией среды. Наличие изменений физико-химических свойств грунтов наблюдалось в зонах, в которых отмечено существенное подкисление грунтового раствора (более 2 единиц) [1].

Помимо токсичного воздействия ТМ, разлив серной кислоты непосредственно вызывает существенные изменения физико-химических условий, определяющих кислотно-основные и катионообменные свойства почв. Под влиянием кислотной нагрузки наблюдается увеличение сульфат-иона, закисление верхних горизонтов почв, что отрицательно сказывается на жизненном состоянии и структуре биогеоценозов [12]. Повышенная кислотность почвы негативно сказывается на росте большинства культурных растений за счёт уменьшения доступности ряда макро- и микроэлементов, и наоборот, увеличения растворимости токсичных соединений. На кислых грунтах эффективность минеральных удобрений в 1,5-2 раза ниже, чем на слабокислых или нейтральных и соответственно урожайность сельскохозяйственных культур снижается на 15-20%. [6]. При усиленном кислотном воздействии наиболее значительным процессом становится выветривание минералов, связанное с кислотным гидролизом первичных минералов [2].

От концентрации водородных ионов зависит снижение скоростей минерализации и гумификации растительного материала и, как следствие, темпы гумусонакопления. Дополнительной причиной снижения содержания гумуса является растворение некоторых фракций гумусовых веществ под влиянием кислоты и миграция их по почвенному профилю [12]. Проведенные анализы [9] определения содержания гумуса через 5 лет после разлива кислоты свидетельствуют, что данного периода недостаточно для естественного обновления и воспроизводства почвенного гумуса. При этом следует отметить, что уменьшение толщины гумусного слоя на 1 см приводит к потере урожая в 1 ц/га [1]. В Донбассе за последние 30 лет содержание гумусных веществ уменьшилось на 30 %. Ситуация осложняется еще и тем, что для возобновления слоя почвы толщиной в 1 см естественным путем нужно не менее 100 лет [9]. Методов искусственного создания гумуса пока еще не существует.

Такие элементы, как железо, марганец, медь, которые входят в состав отработанного электролита, очень важны для жизни растений и, следовательно, для животных и человека. Они известны и под названием микроэлементов, потому что необходимы растениям в малых количествах. К группе микроэлементов относятся также металлы, содержание которых в почве довольно высокое, например, железо, которое входит в состав большинства почв и занимает четвертое место в составе земной коры (5%). При этом все микроэлементы могут оказывать отрицательное влияние на растения, если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы [11]. Так, при избытке меди многие растения угнетены, заболевают хлорозом [7], имеют недоразвитые генеративные функции. Например, при содержании в растениях меди в концентрации 20 мг/кг отмечено снижение урожая ячменя на 75%. Падение урожая капусты на 50% наблюдается при увеличении содержания железа в наружных листьях до 300 мг/кг и марганца – 3000 мг/кг [12].

Вследствие уничтожения многолетней растительности после слива сернокислого электролита и распашки почвы, рыхлое почвенное тело легко подвергается эрозии и дефляции. Это крайне неблагоприятно для Украины как для страны с мощным аграрным потенциалом, тем более, что в настоящее время по данным Министерства охраны окружающей природной среды эрозии подвержено свыше 17 млн. га сельскохозяйственных угодий (40,9 % от их общей площади).

Таким образом, можно сказать, что в результате слива отработанного аккумуляторного электролита в почву (рисунок 1) образуются своеобразные техногенные аномалии, которые характеризуются повышенной кислотностью, увеличением содержания сульфат-ионов и подвижных форм тяжелых металлов, что сопровождается изменением биологического и химического состава почв; уменьшением содержания гумуса; снижением урожайности сельскохозяйственных растений; анатомическими, морфологическими изменениями или гибелью многолетних растений; а в условиях усиленного кислотного воздействия – выветриванием первичных минералов и образованием техногенных пустынь.

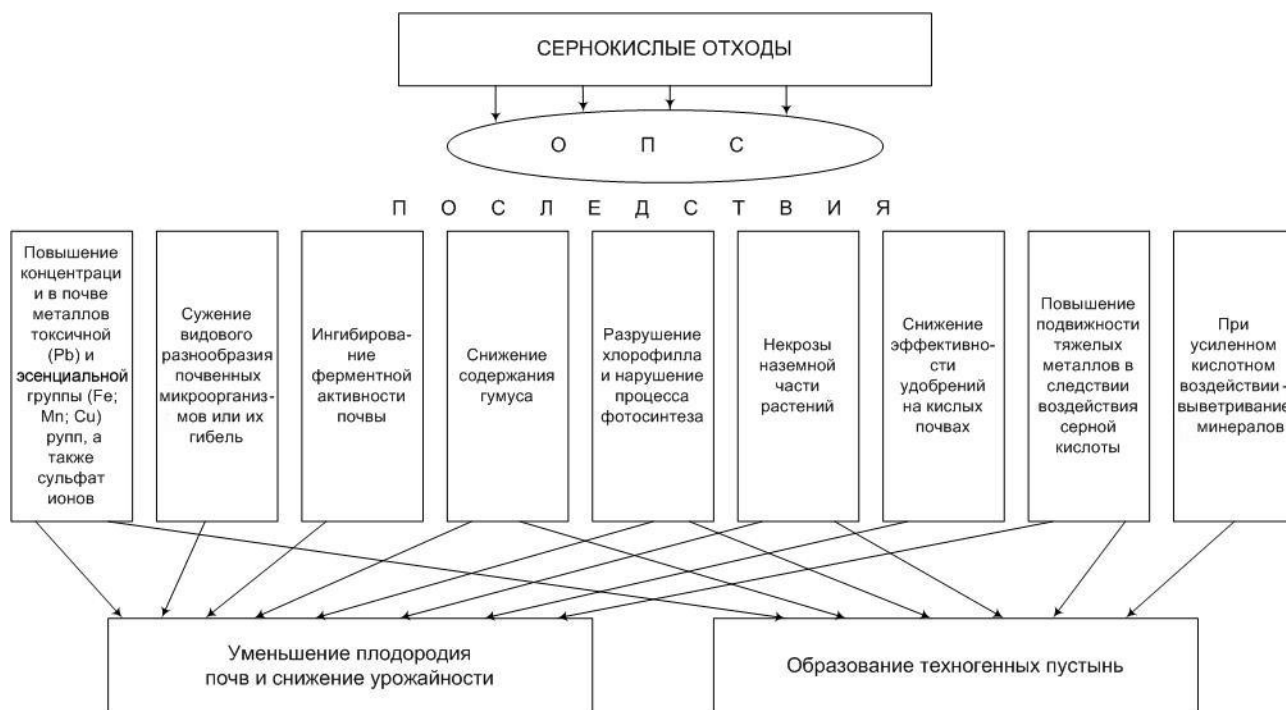


Рисунок 1 - Характеристика воздействия сернокислых аккумуляторных отходов на компоненты окружающей среды.

Следует отметить, что единственным компонентом среды, на который не оказывают влияния сернокислые отходы АБ, является атмосфера. Это объясняется тем, что серная кислота практически не испаряется, так как незначительная упругость паров серной кислоты делает невозможным испарение ее с поверхности электролита.

Список литературы

1. Башевая Т.С. Увеличение техногенной нагрузки на почвенные ресурсы Донецкой области вследствие воздействия токсичных отходов сернокислого электролита аккумуляторных батарей / Т.С. Башевая, А. С. Фроль // Екологічні проблеми природокористування та ефективно енергозбереження : зб. тез доповідей міжнародної науков.-практичної конференції молодих вчених і студентів, – К.: КНУБА, 2010. – С. 230 – 232.
2. Воздействие кислоты осадков на почвы и экологические последствия изменения почвенных свойств / Л. А. Гришина, М. И. Макарова, Т. А. Парамонова, Т. А. Соколова // Почвенно-экологический мониторинг. – М.: МГУ, 1994. – С. 32–61.
3. Екологічні та гігієнічні проблеми забруднення рухомими формами важких металів ґрунту промислових агломерацій Придніпров'я / Крамарьов С.М., Деркачов Е.А., Шевченко О.А. // Довкілля і здоров'я. - №4. - 2004. - С.24-27.
4. Крамарев С. М. Экологическая оценка токсического действия тяжелых металлов на педоценоз / С. М. Крамарев, Т. Ф. Яковишина // Безопасность жизнедеятельности в XXI веке: IV междунар. симпозиум.: труды. - Днепропетровск, 2004. - С.53-54.
5. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения / [под ред. И. К. Гавич]. – М.: Недра, 1985. – 320 с., ил.
6. Некос А. Н. Экология и проблемы безопасности товаров народного потребления: учебное пособие. / А. Н. Некос, В. М. Дудурич - Х.: ХНУ имени В. Н. Кармазина, 2007. – 380 с.

7. Промышленная ботаника / [Кондратюк Е. Н., Тарабрин В. П., Бакланов В. И. и др.]; под ред. Е. Н. Кондратюка. – К.: Наук. думка, 1980. – 260 с.
8. Сердюк С. Н. Диагностика загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова индустриально-урбанизированных территорий / С. Н. Сердюк // *Экологія та ноосферологія*. – К., 2007. – Т. 18. – № 3–4. – С. 133–138.
9. Середина В.П. Влияние разлива серной кислоты на экологические функции почв / В.П. Середина, Н.Ф. Протопопов // *Известия Томского политехнического университета*. – Томск, 2004. – № 5. – С. 58–62.
10. Паранько Н.М. Тяжелые металлы внешней среды и их влияние на иммунный статус населения / Н.М. Паранько, Э.Н. Белицкая, Н.Г. Карнаух // – Днепропетровск: Полиграфист, 2002. – 143 с.
11. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы / А. В. Линдиман, Л. В. Шведова, Н. В. Тукумова, А. В. Невский // *Экология и промышленность России*. – 2008. – № 9. – С. 45–47.
12. Фроль А.С. Определение закономерностей распределения свинецсодержащих примесей сернокислого электролита в почвенном горизонте /А.С. Фроль, Т.С. Башева // *Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей II Международной научно - практической конференции*. - Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2010. - С. 218-221.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
-----------------------	---

СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Васильева Ю.В., Ильницкий Т.С., Костельник Д.О. Оценка вклада синтетических моющих средств в приток соединений фосфора на очистные сооружения канализации	4
Колесник Р.Р., Выборнов Д.В. Анализ нормируемых термических сопротивлений ограждающих конструкций зданий	8
Медведев В.Н., Кошелева Е.В. Энергоресурсосбережение при обслуживании шахтной газоаналитической техники	12
Шатович В.А., Гнитиёв П.А. Энергоресурсосбережение при выплавке стали в ДСП	16
Акименко С.Ю., Колосова Н.В. Использование теплового насоса типа "воздух-воздух" для повышения эффективности рекуператора тепла приточно-вытяжной установки	21
Висящев А.А., Монах С.И. Исследования экономайзерного эффекта при наружном утеплении стен эксплуатируемых зданий	22
Жежерун М.С., Савич Д.В. Метод оценки параметров комфортности микроклимата	31
Монах С.И., Иванисова В.В., Возняк Д.П. Тепловые потери в системах теплоснабжения при транспортировке теплоносителя	35
Монах С.И., Коваленко Т.В., Толубец М.Г. Исследования эффективности аккумулирования теплоты в теплоснабжающих системах	42
Ковальчук Е.И., Олексюк А.А. Солнце - бесконечно мощный ресурс для построения энергосистемы будущего	47
Котов А.А., Шабрацкий С.М., Гусенцова Я.А. Совершенствование методик расчета воздухообмена в помещениях многоэтажных жилых зданий	53
Низамутдинов Д.Б., Максимова Н.А. Выбор источника низкопотенциального тепла теплового насоса	58
Нилов И.А., Шайхед О.В. Применение теплообменных аппаратов контактного типа для утилизации теплоты дымовых газов котельных, работающих на различных видах топлива	62
Золотухина Н.В., Дудник А.В., Новиков А.М. Рекуперация тепла в системе вентиляции зданий	66
Дудник А.В., Золотухина Н.В., Гудима М.М. Полиэфирный утеплитель как защитный барьер от потерь тепла	71
Омельницкая Н.С., Максимова Н.А. Эксергетический метод для оценки эффективности систем кондиционирования воздуха	75
Монах С.И., Панченко Л.Ю. Получение регрессионного уравнения зависимости теплоты сгорания биогаза от его состава	78
Лукьянов А.В., Пенкина Л.С. Использование водоугольного топлива для котлоагрегатов систем теплоснабжения	85
Пыжова Е.В., Калинин О.Н. Рециклинг техногенных отходов доломитового и металлургического производств	89
Полковников А.А., Потапенко О.В., Удовиченко З.В. Энергосбережение в системах ТГВ с помощью тепловых насосов	94
Монах С.И., Селин Д.Ю., Ткаченко А.В. Моделирование температурных полей в неоднородных наружных ограждающих конструкциях	98
Федюнина Т.А., Максимова Н.А. Пути решения проблемы обмерзания пластинчатых рекуперативных теплоутилизаторов	102
Дудник А.В., Цыган С.И. Теплые штукатурки как энергосберегающее решение ограждающих конструкций зданий	105

Замета И.С., Максимова Н.А. Особенности организации воздухообмена в общественных помещениях большого объема	108
Лукьянов А.А., Пенкина Ю.С. Когенерационные энергоустановки на базе двигателей внутреннего сгорания в системах ТГУ	112
Цюпка А.А., Капленко Р.А., Монах С.И. Исследования термодинамической эффективности теплофикационных систем.....	116

СЕКЦИЯ 2. ИНЖЕНЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГОРОДОВ

Головач Ю.А. Влияние продолжительности эксплуатации и диаметров газопроводов на показатели надежности газораспределительных сетей	123
Зубрицкая А.В., Выборнов Д.В. Ализ математических моделей рассеивания концентраций вредных веществ в атмосфере	128
Синельников В.В., Удовиченко З.В. «Метод кривых» - новое решение при бестраншейной прокладке газопроводов	135
Алексеев В.В., Балинченко О.И. Возможности использования водохранилища г. Донецка в качестве источника дополнительного водоснабжения.....	140
Савостин И.Р., Удовиченко З.В. Применение когенерационных установок для жилищно-коммунального хозяйства.....	144
Селютина Т.В., Долгов Н.В. Анализ современных автоматизированных систем отопления	149
Чернышев Г.И., Синезук И.Б. Анализ технологии биологического удаления азота из городских сточных вод с использованием активного ила методом предшествующей денитрификации.....	153
Айсин Э.Т., Лукьянчук Я.С., Зайченко Л.Г. Факторы, влияющие на показатели технологических расходов питьевой воды в системе коммунального хозяйства	158
Бутенко К.В., Удовиченко З.В. Особенности систем обеспечения микроклимата зданий различного назначения	162
Золотухина Н.В., Еребакан Г.Н. О вопросе сортировки ТБО при санитарной очистке населенных мест	165
Лысенко Т.С., Шпилевой В.В., Самойлова Е.Э. Возможность применения шлакощелочных бетонов в дорожном строительстве	170
Шевченко О.Н., Малинина З.З., Новичков А.Ю. Пути модернизации системы водоснабжения жилищного фонда.....	172
Смирнова Я.В., Удовиченко З.В. Анализ факторов, влияющих на безопасную эксплуатацию внутрименовых систем газоснабжения жилых домов	175
Дудник А.В., Золотухина Н.В., Сулима В.В. Проблемы водоснабжения и водоотведения, пути их решения.....	179
Сюзьева В.С., Янченко М.В., Рожков В.С. Определение показателей активного ила в порционном реакторе	182
Золотухина Н.В., Дудник А.В., Тельпиз С.М. Энергоэффективные технологии для гражданских зданий.....	187
Хардилов Н.Н. Изучение воздействия сернокислых аккумуляторных отходов на литосферу городов	192

Научное электронное издание

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

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

(26 декабря 2019 г., Макеевка)

Ответственные за издание: ***А. В. Лукьянов***

e-mail: donnasa_gsh@mail.ru

gsh@donnasa.ru

Компьютерная вёрстка: ***Д. В. Савич, Б. В. Кляус***