

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ**

Выпуск № 2(15) 2019

**ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЬИ
ОБРАЩАТЬСЯ
В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 2135а;

тел.: +7(473)2-71-53-21;

e-mail: gik_vgasu@mail.ru.

Ознакомиться с *электронной версией журнала* можно на сайте:

[http:// journal-gik.wmsite.ru](http://journal-gik.wmsite.ru)



Ознакомиться с *полнотекстовой версией журнала* можно на сайте
Российской универсальной научной электронной библиотеки:

<http://www.elibrary.ru>



ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

№ 2(15)

Июнь, 2019

- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
- ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
- АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
- ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ
- ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
- ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
- СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
- ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

Воронеж



**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ**

Научный журнал

Издается с 2015 года

Выходит 4 раза в год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». Территория распространения - Российская Федерация.

Статьи рецензируются, подвергаются обработке по программе «Антиплагиат» и регистрируются в **Российском индексе научного цитирования**. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель: **Колодяжный С. А.**, ректор,
Воронежский государственный технический университет

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: **Мелькумов В. Н.**, д-р техн. наук, проф.,
Воронежский государственный технический университет

**Заместители
главного редактора:** **Скляр К. А.**, канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет
Чуйкин С. В., канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет

**Ответственный
секретарь:** **Тульская С. Г.**, канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет

Бондарев Б. А., д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет

Енин А. Е., канд. архит, доц., Воронежский государственный технический университет

Зубков А. Ф., д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет

Калгин Ю. И., д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

Капустин П. В., канд. арх., доц., Воронежский государственный технический университет

Кобелев Н. С., д-р техн. наук, проф., Юго-западный государственный университет, г. Курск

Козлов В. А., д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

Кузнецов С. Н., д-р техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

Кушев Л. А., д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Леденев В. И., д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет

Лобода А. В., д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

Подольский Вл. П., д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

Самодурова Т. В., д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

Чесноков Г. А., канд. арх., доц., Воронежский государственный технический университет

Шубенков М. В., д-р арх., проф., Московский архитектурный институт (Государственная академия)

Редактор: *Тульская С. Г.* Дизайн обложки: *Чуйкина А. А.*

Дата выхода в свет 28.06.2019. Усл. печ. л. 7.44. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 202

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-68664.

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Цена свободная

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 2135а;
тел.: (473)2-71-53-21; e-mail: gik_vgasu@mail.ru.

ОТПЕЧАТАНО: Созидатель, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 103

+12

© ВГТУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	8
<i>Басыров И. И.</i> Особенности архитектурно-пространственной организации сельских торгово-ярмарочных центров.....	8
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОВЕЩЕНИЕ	16
<i>Серегина Е. А., Бейман Т.</i> Использование тепловых насосов для обогрева помещений в условиях России.....	16
<i>Кузнецов С. Н., Кузнецова Г. А., Потапова А. В., Рацупкин И. С., Савельев Д. А.</i> Моделирование устройства аварийного отключения фонтанной арматуры.....	22
<i>Кузнецов С. Н., Кузнецова Г. А., Алиев Б. М., Измалков Д. С., Мостовой М. А.</i> Распределение концентраций вредных веществ.....	27
<i>Кузнецов С. Н., Кузнецова Г. А., Губанова Е. А., Мурашкин В. А., Сазонов Д. В., Ольховский А. А.</i> Распределение концентраций природного газа в диагностической скважине.....	31
<i>Кремнева А. А., Коровина Л. С., Полуэктова В. Г.</i> Оптимальное применение теплоизоляции для теплых полов с учетом минимизации теплопотерь в грунт на примере пеноплэкс.....	35
<i>Мартыненко Г. Н., Комаров А. С., Грибанов М. С.</i> Способы и технологии переработки мусора в сырье.....	43
<i>Чуйкина А. А., Плаксина Е. В., Бохан А. Р., Григорьева К. А.</i> Планирование оптимальной трассы системы теплоснабжения при равномерном распределении тепловой нагрузки.....	50
ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ	58

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

УДК 72.01(631)

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКИХ ТОРГОВО-ЯРМАРОЧНЫХ ЦЕНТРОВ

И. И. Басыров

ООО «МостафПроектСтрой»

И. И. Басыров, архитектор

Россия, г. Казань, e-mail: irekbasyrov2017@gmail.com

Постановка задачи. В данной работе рассмотрены особенности архитектурно-пространственной организации торгово-ярмарочных центров (ТЯЦ).

Результаты и выводы. В работе исследованы особенности архитектурно-пространственной организации формирования торгово-ярмарочных центров, выявлены отличия подходов к формированию городских и сельских торгово-ярмарочных центров, их функционального состава, предложена концепция формирования межпоселкового ТЯЦ в контексте устойчивого развития на примере села Батырево. Дано определение сельского торгово-ярмарочного центра, функциональный состав, особенности формирования межпоселкового ТЯЦ в региональных условиях конкретного села, в контексте устойчивого развития.

Ключевые слова: торгово-ярмарочный центр, архитектурная организация сельских торгово-ярмарочных центров.

Введение. Проблема развития сельских поселений – одна из наиболее актуальных тем сегодняшнего дня. Современные сельские населенные пункты не комфортны для проживания, поскольку некоторые факторы непрерывно разрушают физическое и психическое здоровье человека: низкое качество архитектуры, плохая инфраструктура, плотный электромагнитный смог, в котором непрерывно вынужден находиться человек и т.д. Сельские территории имеют огромный потенциал развития, потребности в создании новых рабочих мест, привлечении инвесторов, обеспечении комфортных условий для жизни сельчан.

Цель данной статьи – выявление подходов к формированию городских и сельских торгово-ярмарочных центров, концепция формирования межпоселкового ТЯЦ на примере села Батырево Чувашской Республики.

1. Городские торговые центры и ярмарки. Под термином торговый центр понимают группу разнородных торговых предприятий, сосредоточенных в одном месте, функционирующих и управляемых как единый, целостный объект. Торговый центр способен обслуживать торговую зону всеми необходимыми видами товаров массового спроса. В особо крупных комплексах имеются встроенные стоянки для автомобилей [1].

Первый унифицированный торговый центр Country Club Plaza, основанный компанией JC Nichols, открылся в Канзас-Сити, штат Миссури в 1922 году [2]. Первый закрытый комплекс открылся в Миннеаполисе, штат Миннесота в 1956 году. В 1980-х годах были разработаны мегамоллы, такие, как Западный торговый центр Эдмонтон в Альберте, штат

Кан. (открыт в 1981), в котором содержится не только более чем 800 магазинов включающих все от обуви до автомобилей, но и рестораны, гостиницы, парки развлечений, миниатюрные поле для гольфа, церковь, «водный парк» для принятия солнечных ванн и серфинга, зоопарк, озеро длиной 438 футов и разбросанное около 500 видов деревьев.

По масштабу, торговые центры, как правило, бывают нескольких видов: районный, окружной, суперокружной, региональный, микрорайонный, суперрегиональный, специализированный. Центральная торговая зона может различаться по направленности: элитная или массовая, либо это будет зона отдыха и развлечений. От этого решения во многом зависит планировка территории [3-4].

Функциональный состав торговых центров включает следующие зоны: торговая, зона питания, бытовых услуг, оздоровительных услуг, спортивная, развлекательная, общественно-деловая, жилая и выставочная. Основную роль играет торговая зона, так как у предпринимателей появляется возможность развить свой бизнес, расширить сферы влияния. Жители получают великолепную торгово-досуговую зону со всей инфраструктурой, созданной по последнему слову техники и технологии, администрация видит свою выгоду в формировании благоприятного имиджа поселения.

Что касается городских торговых ярмарок, то в словаре экономики и права, приводится определение: торговая ярмарка – крупный, периодически или постоянно действующий и открытый рынок, собирающийся регулярно в одних и тех же местах, в определенное время года и в установленный срок для демонстрации образцов товаров и заключения коммерческих сделок [3]. В словаре Ушакова слово ярмарка понимается как регулярно, в определенное время устраиваемый торг, на который съезжаются для продажи и закупки товаров.

Наиболее известные такие исторически сложившиеся городские ярмарочные центры: Нижегородская, Лейпцигская, Гостиный двор Суздаля (Торговые ряды), Фермерский рынок Лос-Анжелеса [7-10].

Изучением торговых центров занимались такие авторы, как: Лин М. Т., Емец В. В., Парфенова Э. С., Моргун Н. А., Контеев В. В., Переверзева Н. В. и др. Изучением проблем развития малых городов и поселений занималась Гельфонд А. Л., Пустоветов Г. И., Субботина Л. Л., Поморов С. Б., Глазычев В. Л.

Вместе с тем в России отсутствует современный свод правил по строительству торговых центров. Практически все крупные торгово-развлекательные объекты строятся на основании специальных технических условий (СТУ) [8]. Развитию теоретической базы сельских поселений не уделяется достаточного внимания – нет разработанной типологии сельских ТЯЦ.

Основные принципы формирования центральной торговой зоны для городских торговых центров выявила Переверзева Н. В.:

1. Принцип полифункциональной содержательности;
2. Принцип несовпадения границ;
3. Принцип концентрического распределения элементов;
4. Принцип ядерно-сетевой структурно-функциональной организации;
5. Принцип транспортной обеспеченности;
6. Принцип контактной зоны.

Принципы полифункциональной содержательности, несовпадения границ, транспортной обеспеченности применимы в проектировании межпоселкового торгово-ярмарочного центра, так как все функции, которые будут располагаться внутри ТЯЦ разнородны, они находятся на одной территории, работают как единое целое, но имеют разные функции.

Исходя из приведенных формулировок торговых центров и ярмарок можно сформулировать определение ТЯЦ сельского поселения. Торгово-ярмарочный центр (ТЯЦ) сельского поселения – группа разнородных торгово-ярмарочных и культурно-развлекательных функ-

ций, общественных зданий и сооружений общепоселкового и межпоселкового значения, сосредоточенных в одном месте, функционирующих и управляемых как единая, целостная система с учетом региональных и социокультурных условий и традиций.

Наиболее известные старинные русские ярмарки XVI и XIX веков Нижегородская, Кирилловская, Макарьевская, Архангельская и Холмогорская. К назначенному дню на ярмарку съезжались множество крестьян из соседних уездов и губерний (областей), приезжали купцы-торговые гости и мелкие торговцы; между ними встречались агенты-скупщики иностранных «гостей» [9-10].

Эффективным способом демонстрации потенциала территории, ее развития и продвижения является Соминская ярмарка в Ленинградской области. На данной территории более 100 лет назад гремела ярмарка на большом купеческом селе Сомино на Тихвинской водной торговой системе. В 2012 году здесь была возрождена прежняя традиция проведения ярмарки, которая стала проводиться ежегодно [11].

Обская ярмарка – одно из главных событий в аграрной и торговой жизни Ямала, которое наглядно показывает результаты труда местных сельхозпроизводителей и помогает развивать торговые связи с другими субъектами страны.

Современные сельские ярмарки проводятся регулярно на территории сельских поселений. Примером служит праздник сабантуй – самый известный национальный праздник успешного завершения весенне-полевых работ и будущего урожая, а также – праздник плодородия и благополучия. Акатуй-Сабантуй проводят на территории «солнечной поляны» Батыревского района каждый год. Это весенний праздник чувашей, посвященный земледелию. На нее съезжаются с разных районов. Соседние деревни также проводят этот праздник, поэтому погулять на торжестве возможно несколько дней подряд. В самом главном состязании – вольная борьба, принимают участие молодые богатыри с разных деревень, и таким образом выявляют чемпиона района.

Существенной разницы в сельских и городских ярмарках XVI и XVII веков не было [12-15]. Разница ощущалась начиная с XVIII-XIX веков. Достаточно привести в пример Нижегородскую ярмарку. Уже в то время это была крупнейшая ярмарка Российской империи, включающая в себя гостиный двор, Спасский Староярмарочный собор, колокольню, Армяно-григорианскую церковь, мечеть, Китайские ряды. Впервые на территории были разработаны подземные сводчатые канализации, также были сооружены две подземные галереи. Для того времени это были уникальные сооружения.

В современных реалиях заметны отличия между сельскими и городскими торговыми ярмарками. Основные из них: зона охвата, размеры торговой зоны, месторасположение, целевая аудитория, специфика продаваемых товаров, функциональный состав.

На основе рассмотренного опыта устройства сельских и городских торговых ярмарок сформированы архитектурно-типологические требования к сельским ТЯЦ, которые приведены в таблице.

Характерные свойства, которые может принять центральная торговая зона: равнозначность всех основных функциональных элементов в узлах торговой зоны; существующая граница торговой зоны не совпадает с границей сельского центра, из этого следует, что центральная торговая зона – это самостоятельное планировочное образование на территории района; структурно-функциональный каркас торговой зоны определяют объекты торговли и обслуживания, которые являются системообразующими и формируют узлы наивысшей концентрации деятельности; возможно выделение транспортной зоны «покрытия» сельского района, которая фактически определяет оптимальную границу территории наиболее выгодной для размещения объектов обслуживания; развитие торговой зоны зависит от наличия территориального потенциала сельского центра для размещения объектов обслуживания и возможности организации контактной зоны между общественной и жилой.

Таблица

Основные требования к сельскому торгово-ярмарочному центру

Торговая зона	
Градостроительный уровень	достижение максимального удобства расположения пешеходно-транспортных связей, обеспечение доставки товаров в предприятия и учреждения пешеходной торговой зоны, беспрепятственную связь с паркингами и остановками общественного транспорта
Архитектурный уровень	достижение гармоничной и функциональной архитектурно-пространственной композиции, отвечающей современным требованиям и учитывающий традиции, историю и культуру данного региона.
Функциональный уровень	необходимость разнообразия функций пешеходной торгово-развлекательной зоны при ведущей роли торгового обслуживания
Художественно-композиционный уровень	создание выразительного облика торговой зоны такими приемами современного дизайна, как благоустройство и оборудование, реклама, озеленение, элементы монументально-прикладного искусства и т.д.

Важным элементом классификации торговых центров, который может учитываться при организации сельских ТЯЦ, является наличие Якоря. Якорь (Anchor) – крупный, как правило сетевой, оператор розничной торговли с известным брэндом, расположенный на территории торгового центра на правах арендатора или собственника занимаемой площади и привлекающий в торговый центр основные потоки покупателей. В качестве якоря могут выступать и предприятия другого профиля или их совокупность (предприятия общественного питания – фуд-корт, предприятия услуг – кинотеатр и т. д.). Так же функцию якоря могут выполнять имидж места, некоммерческие объекты – памятники архитектуры и др.

Автомобильные и велосипедные парковочные места являются важным фактором в организации центральной торгово-развлекательной зоны. Размер и масштаб, функциональная составляющая территории и плотность района определяют потребность и размер стоянок. Доступ к торговой зоне должен быть удобным и рациональным, чтобы избежать пробок. На холмистых участках часто выгодно использование парковки и служебных мест, кроме основного потребительского уровня.

Пешеходная, велосипедная и автомобильная циркуляция внутри территории являются определяющим звеном в планировании и должны быть физически отделены как можно лучше. Исключениями из этого правила являются вынужденные подъезды автомобилей в точки обслуживания.

На примере разработки проекта развития села Батырево рассмотрим особенности и функциональный состав торгово-ярмарочных центров.

2. Торгово-ярмарочный центр села Батырево. Село Батырево – один из привлекательных крупных сельскохозяйственных инвестиционных сел Чувашской Республики. Основной для инвестирования, ведения бизнеса являются благоприятные природно-климатические условия, межнациональное согласие, развитая автодорожная сеть, правовые и экономические гарантии инвестиций, значительный потенциал трудовых ресурсов, авторитет власти.

Население – 5 257 человек, из них 46,5 % мужчин, 53,5 % женщин (Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2017 года).

Село расположено на реке Була, в 56 км к югу от города Канаш, в 133 км от Чебоксар.

Проектируемая территория под торгово-ярмарочный центр (ТЯЦ) располагается на западной части села при въезде в населенный пункт, которая представляет собой территорию с беспорядочно расположенными частично заброшенными зданиями. На территории в основном располагаются недействующие производственные сооружения. Западная часть выходит на трассу федерального назначения, юго-восточная – на центральную улицу. Образ данной территории во многом определяет облик села.

Потенциал расположения территории: проектируемая площадь располагается рядом с трассой федерального назначения, что в нашем случае играет большое значение в функционировании и доступности ТЯЦ.

Социально-экономический потенциал: на сегодняшний день на данной территории располагается самая активная зона для жителей села.

Необходимость оптимизации пространства: данный участок в плохом состоянии в плане благоустройства, зонирования и транспортных связей.

Все вышеперечисленные особенности позволяют осмыслить потребность развития территории. ТЯЦ может стать связующим узлом для сосредоточения торгово-развлекательных функций всего района.

Основной целью является формирование в центре села ярко выраженной центральной торгово-ярмарочной зоны, характеризующейся большим количеством предприятий торговли, общественного питания, бытового обслуживания, мест отдыха для всех слоев и возрастных групп населения. Ожидаемый результат от реализации настоящего проекта заключается в оборудовании комфортной торгово-досуговой зоны; в формировании имиджа центральной торговой зоны в лучших традициях современного, высокотехнологичного района с современной инфраструктурой. А это, в свою очередь, будет способствовать повышению привлекательности центра села Батырево для туристов и потенциальных инвесторов, привлечению в сельское хозяйство дополнительных инвестиций.

Градостроительная концепция развития торговой зоны села Батырево предусматривает создание общественного торгово-ярмарочного центра республиканского масштаба.

Проект предполагает снос, реконструкцию, также создание новых зданий.

Проектируемая территория содержит следующие зоны (рис. 1):

1. Зона придорожной гостиницы;
2. Парковочная зона для ночевки большегрузных автомобилей;
3. Зона обслуживания для большегрузных автомобилей;
4. Производственная зона по переработке сельскохозяйственной продукции (производство яблочного сока, консервирование и т.д.);
5. Зона отеля с озером;
6. Парковочная зона для приезжих и туристов;
7. Торгово-ярмарочная зона (площадь, променады, крытый рынок, торговые центры, досуг, развлечения, музей, библиотека);
8. Жилая зона (жилые дома с общественной функцией на первых этажах);
9. Культурно-развлекательная зона.

Основным связующим звеном в композиции генплана является променады, соединяющий воедино все основные узлы композиции.

В центре променады располагается многофункциональная ярмарочная площадь, которая в будние дни является местом отдыха и досуга, а в праздничные дни возводятся временные ярмарочные павильоны. Также площадь предусмотрена для возведения сцены, проведения фестивалей и т.д. Вокруг площади располагаются основные торгово-развлекательные здания: крытая ярмарка, музей, развлекательные сооружения и т.д. (рис. 2).



Рис. 1. Генеральный план проектируемой территории

Крытая ярмарка в 2 этажа имеет в плане трапециевидную форму, по периметру здания располагаются арендуемые торговые помещения. В центре ярмарки располагается большой зал, в котором располагаются торговые лавки. С западной стороны площади располагается музей с библиотекой в 4 этажа и выставочными залами, выше музея располагается трехзвездочная гостиница. С северной и западной стороны площади располагаются помещения под развлечения, в нее входят: 1 этаж – торговля, 2-4 этажи боулинг, кинотеатр, офисы, бильярд, аттракционы.

Логическим завершением променада является центральный парк, со своим водоемом, прогулочными зонами, скейтпарком, тренажерной, спортивной, детской площадками. Центром композиции является дома-музеи, перенесенные с разных районов в парк, создающих вместе ансамбль из деревянных строений.

В проекте используются современные ресурсосберегающие технологии, основанные на принципах устойчивого развития: энергосбережения, водных ресурсов, озеленения. В целях сохранения электроэнергии на крыше рынка и производственного здания установлены солнечные батареи. Так ярмарка получает частичное электропитание за счёт возобновляемой солнечной энергии. Несколько ветрогенераторов применяются на территории парковой зоны. Ливневые стоки ярмарочной площади устроены таким образом, чтобы часть воды, которая во время дождя стекает по предусмотренным ливневым стокам в специальные резервуары, расположенные под участком пожарной части в восточной стороне от проектируемой территории. Собранная вода очищается специальными фильтрами и используется при тушении пожаров. Другая часть воды стекает в парковую зону, где собирается в резервуары и используется для орошения.



Рис. 2. Видовой кадр

В проекте предусмотрены современные методы сбора и утилизации мусора: установлены отдельные урны и контейнеры, выполненных в современном дизайне; вывоз мусора производится в современный сортировочный центр (мусор распределяется на переработку, сжигается и минимум мусора распределяется в почву); на территории созданы кладовые сооружения для обмена использованными вещами.

Принципы устойчивого развития национально-региональных традиций проявляются в архитектуре и цветовой гамме зданий. За основной элемент взят чувашский пиктографический знак в виде солнца, используемый в символике чувашского народа. (Рис. 3). В архитектуре зданий используется близкая к Батыревской символике цветовая гамма, с добавлением красного и синего цвета, что благоприятно отражается в архитектуре ярмарочных центров. В чувашском регионе широко применяется красный кирпич, при строительстве, как малоэтажных домов, так и усадебных. Эту особенность было решено сохранить, поэтому некоторые сооружения выполнены из темно-красного обожжённого кирпича.

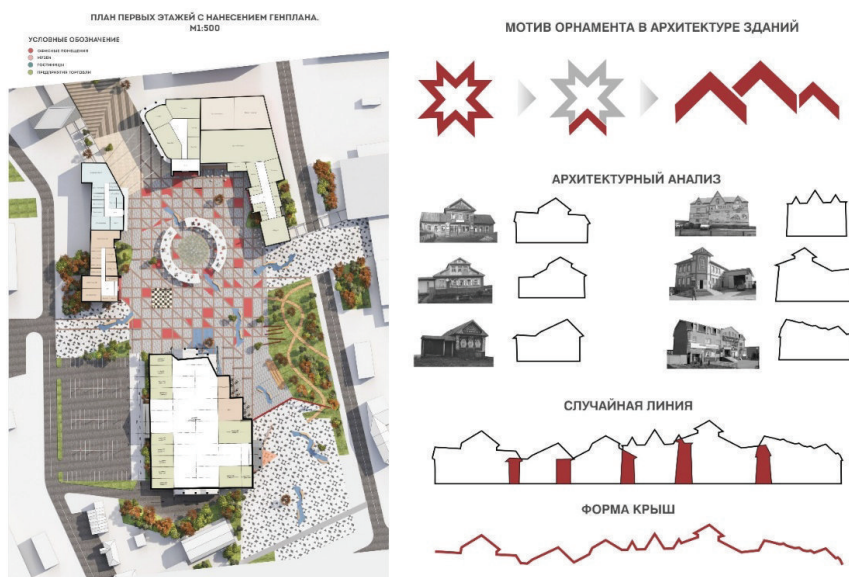


Рис. 3. Функциональная схема и план-генплан территории центральной части ТЯЦ

В состав производственной зоны входит административное здание, склад и производственные цеха. В данной территории производят переработку сельхоз продукции, выращенной в Батыревском плодопитомнике.

В целях удобства для приезжих и туристов предусмотрена большая парковка при въезде на территорию со стороны трассы. Также недалеко от нее располагается паркинг для крытого рынка.

Вывод. Прделанная работа позволила выявить отличия городских и сельских торгово-ярмарочных центров. Дано определение сельского торгово-ярмарочного центра, функциональный состав, особенности формирования межпоселкового ТЯЦ в региональных условиях конкретного села, в контексте устойчивого развития. Рассмотренные особенности применены в архитектурно-пространственной организации Батыревского ТЯЦ. Данный опыт может быть использован для создания сельских торгово-ярмарочных центров в других регионах.

Библиографический список

1. **Райзберг, Б. А.** Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.
2. **Контеев, В. В.** Стратегический проект «Центральная торговая зона» / В. В. Контеев // Известия УрГЭУ. – 2005. – №10. – С.103-107.
3. **Кураков, Л. П.** Экономика и право: словарь-справочник / Л. П. Кураков, В. Л. Кураков, А. Л. Кураков – М.: Вуз и школа, 2004. – 1072 с.
4. Нижегородская ярмарка // wikipedia.org [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нижегородская_ярмарка (дата обращения: 25.10.2018).
5. Лейпцигская ярмарка // leipzig-messe.de [Электронный ресурс]. URL: <http://www.leipzig-messe.de> (дата обращения: 25.10.2018).
6. Гостинный двор Суздаля (Торговые ряды) // wikiway.com [Электронный ресурс]. URL: <https://wikiway.com/russia/suzdal/gostinyu-dvor-suzdalya> (дата обращения: 25.10.2018).
7. Фермерский рынок Лос-Анджелеса // wikiway.com [Электронный ресурс]. URL: <https://wikiway.com/usa/los-angeles/fermerskiy-rynok-los-andzhelesa> (дата обращения: 25.10.2018).
8. В России отсутствует СП для строительства торговых центров – эксперт // radidomapro.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.radidomapro.ru/ryedkktzj/gosudartsvo/zakon/v-rossii-otsutstvuet-sp-dlia-stroiteligstva-torgov-63699.php> (дата обращения: 25.10.2018).
9. **Переверзева, Н. В.** Центральная торговая зона крупнейшего города как особый градостроительный объект / Н. В. Переверзева // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2010. – № 2. – С. 20-26.
10. **Веселовский, А.** Старинные русские ярмарки (XVI и XVII в.в.). К истории русских ярмарок на Севере. (Краткая историко-экономическая заметка) / А. Веселовский // Кооперация Севера. – 1923. – № 4. – С. 89-90.
11. Незабываемая русская ярмарка // ecogazeta.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecogazeta.ru/archives/8736> (дата обращения: 25.10.2018).
12. Открытие VI сельскохозяйственной Обской ярмарки в селе Мужы // yamal.aif.ru [Электронный ресурс]. URL: http://www.yamal.aif.ru/society/details/otkrytie_vi_selskohozyaystvennoy_obs koy_yarmarki_v_sele_mu zhi#id=15138012 (дата обращения: 25.10.2018).
13. **Шумилкин, С. М.** Нижегородская ярмарка / под ред. В. В. Князева. – Нижний Новгород: Волго-Вятское кн. изд-во. – 1996. – 224 с.
14. Классификация торговых центров: европейские стандарты // dvoretsky. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dvoretsky.ru/modules/myarticles/article.php?storyid=188> (дата обращения: 25.10.2018).
15. **Суровенков, А. В.** Архитектура торговых центров крупнейшего города: на примере Санкт-Петербурга: дис. канд. архитектуры: 18.00.02 / Суровенков Андрей Викторович. – М., 2005. – 173 с.

Для цитирования: **Басыров, И. И.** Особенности архитектурно – пространственной организации сельских торгово – ярмарочных центров / И. И. Басыров // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 8-15.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.577:697

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОБОГРЕВА ПОМЕЩЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РОССИИ

Е. А. Серегина, Т. Бейманов

Воронежский государственный технический университет

*Е. А. Серегина, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (961) 187-26-59, e-mail: katya-seregina-2017@mail.ru*

*Т. Бейманов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (920) 459-09-07, e-mail: glen2009@rambler.ru*

Постановка задачи. В Европе в качестве альтернативного источника отопления обширно используется тепловой насос. В России данный источник отопления не приобрел подобающего распространения, так как эффективность и выбор определённого источника тепловой энергии зависят от погодных условий. Целью исследований является вопрос об использовании тепловых насосов для обогрева помещений в условиях России.

Результаты. В работе выполнен обзор на различные типы тепловых насосов. Представлена информация о расчете эффективности выбора теплового насоса.

Выводы. Анализ данных показал, что внедрение тепловых насосов в Северных регионах непригодно, так как в определенном температурном диапазоне работа их непродуктивна, а в городах Южных областей тепловой насос сможет эффективно прослужить некоторое количество холодных месяцев.

Ключевые слова: тепловой насос, энергоэффективность, низкопотенциальная энергия, теплоснабжение.

Введение. Тепловой насос (ТН) – прибор для передачи тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии к потребителю с более высокой температурой. Оборудование рассчитано для охлаждения и нагрева воды, которая в последующем идет для нагрева или же охлаждения воздуха в здании и в санитарно-гигиенических целях.

Тепловые насосы отлично применялись в быденной жизни и промышленности в странах Европы и в США на протяжении более 25 лет. Главная особенность их состоит в трансформации низкопотенциального тепла природной среды (воды, земли, воздуха). На российском рынке данная весьма экологичная технология получила распространение абсолютно недавно.

Тепловые насосы эффективны только в тех случаях, когда другие виды системы отопления обходятся значительно дороже.

В настоящий момент основной рынок ТН сосредоточен во Франции. В последние пару лет этот рынок начал расширяться на территориях Великобритании, Германии и Восточной Европе.

Теплонасосное оборудование незаменимо для отопления и горячего водоснабжения, если здание находится на достаточном удалении от магистрали централизованного теплоснабжения.

1. Виды тепловых насосов и их использование. Бытовые тепловые насосы бывают трех ведущих типов, различающихся по внешнему источнику тепла:

- «водяные», «вода-воздух» или «вода-вода»;
- «земляные», «грунт-воздух» или «грунт-вода»;
- «воздушные», «воздух-воздух» или «воздух-вода».

Самыми популярными, эффективными, но и самыми дорогостоящими из всех типов тепловых насосов, являются насосы использующие тепло земли.

Трубы, уходящие под землю, могут располагаться вертикально или горизонтально. В зависимости от этого, «земляные» тепловые насосы делятся на вертикальные и горизонтальные [1].

Вертикальные тепловые насосы требуют погружения труб, по которым хладагент циркулирует на значительную глубину: 50-200 м. Этому есть и альтернатива – сделать не одну скважину, а несколько, но не таких глубоких. Расстояние между этими скважинами должно быть не менее десяти метров. Для того, чтобы рассчитать глубину бурения, позволено грубо прикинуть, что тепловой насос мощностью 10 кВт потребует скважины (несколько или одну) общей глубиной примерно 170 м. Также необходимо помнить, что бурить очень мелкие (менее 50 м) скважины не имеет смысла.

При горизонтальной укладке дорогостоящее бурение на большую глубину не требуется. Глубина заложения трубопроводов при этом способе должно быть около одного метра, в зависимости от региона установки данная величина может как увеличиваться, так и уменьшаться. Трубу с хладагентом при горизонтальной укладке располагают так, чтобы расстояние между соседними участками было не менее 1,5 метров, в противном случае сбор тепла не будет эффективен [2].

Для установки теплового насоса мощностью 10 кВт требуется общая длина зарытой трубы около 350-450 м. Если обратить внимание на ограничения, связанные с соседством разных участков между собой, то нам необходим участок земли с размерами 20х20 метров. Может ли быть выполнено это условие – большой вопрос.

Тепловые насосы «воздух-вода» широко применяются в европейских странах в основном для снабжения помещений горячей водой и отопления. Их популярность обусловлена таким качеством, как высокая универсальность использования, энергоэффективность, относительная простота и дешевизна установки. В России данные системы распространены недостаточно из-за одного ограничения – фактический интервал допустимых температур наружного воздуха ограничен.

Воздушные тепловые насосы высоко эффективны как системы отопления при температурах немного выше 0 °С. Если температура падает ниже данной отметки эффективность снижается. Еще один фактор, ограничивающий широкое применение тепловых насосов в России, – это меньшая эффективность для охлаждения воздуха (по сравнению с традиционными сплит-системами)[3].

Продуктивно работает тепловой насос исключительно в температурном спектре от -5 °С до +7 °С. При температуре воздуха от +7 °С система вырабатывает тепла больше, чем требуется, а при отметке ниже -5 °С – недостаточно для обогрева. Это связано с тем, что концентрированный фреон, находящийся в конструкции, закипает при температуре -55 °С.

Гипотетически установка может производить тепло и в тридцатиградусный мороз, но этого не будет хватать для обогрева помещения, так как теплопроизводительность зависит от разности температуры кипения хладагента и температуры воздуха. Поэтому система не подойдет для жителей Северных регионов, где холода приходят раньше, зато в домах Южных областей она сможет эффективно служить несколько холодных месяцев. Если в помещении установлены стандартные батареи, то тепловой насос будет работать не так эффективно. Эффективнее всего установка «воздух-вода» сочетается с

конвекторами и другими радиаторами с большой площадью, а также с системами «теплые стены» водного типа и «теплый пол». Вдобавок помещение должно быть хорошо утеплено снаружи, иметь встроенные многокамерные окна, обеспечивающие лучшую теплоизоляцию, чем обычные пластиковые или деревянные.

Рабочим веществом в конструкции является воздух. Кислород по трубам поступает в испаритель через наружный блок, который устанавливают на улице, где вступает во взаимодействие с хладагентом. Под действием температуры фреон приобретает газообразную форму (так как закипает при $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$) и в нагретом виде под давлением поступает в компрессор. Установка сжимает газ, тем самым увеличивая его температуру. Нагретый фреон поступает в контур конденсатора, где происходит передача тепла воде, которую далее можно использовать для отопления и горячего водоснабжения. В накопительном баке фреон лишается части тепла, и все еще находится в газообразном состоянии. Проходя через дроссель, хладагент распыскивается, в результате чего его температура уменьшается. Фреон становится жидким и в этом состоянии переходит в испаритель. Цикл повторяется.

Самодельный насос будет эффективно обогревать помещения площадью до 100 м^2 и гарантировано выдавать мощность в 5 кВт. Следует принимать во внимание, что фреон невозможно качественно залить в конструкцию, созданную в домашних условиях, поэтому необходимо полагаться на температуру его кипения до $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Устройство бытовой сборки отлично подойдет для обеспечения теплом теплицы, гаража, подсобных помещений, небольшого частного бассейна и т. д. Систему хорошо использовать в качестве дополнительного обогрева, а не основного [4].

Воздушные тепловые насосы имеют 3 режима работы.

– Охлаждение. Происходит по прямому циклу. Теплообменник во внутреннем блоке работает и как испаритель. Он охлаждает воду, затем она переходит в вентиляторные доводчики. При этом циркуляционный насос работает непрерывно.

– Подготовка горячей жидкости. Во внутреннем блоке теплообменник работает как конденсатор (по обратному циклу). Нагреву подвергается вода в контуре, она скапливается в баке-аккумуляторе и используется потребителями для домашних нужд. Если понадобится, циркуляционный насос включается.

– Обогрев. Как конденсатор теплообменник работает по обратному циклу. В процессе циркуляции по контуру вода нагревается и переходит в вентиляторные доводчики, систему теплых полов и радиаторов. Функционирование теплового насоса при этом также непрерывно.

Преимущества применения тепловых насосов: высокотехнологичные решения, экономия энергии (воздушные насосы вырабатывают $4,44\text{ кВт}$ тепловой энергии на каждый кВт электроэнергии), возможность повсеместного использования, безопасность для окружающей природной среды (изготовитель позаботился о том, чтобы энергия теплового насоса «вода-воздух» применялась эффективно, а оборудование при эксплуатации не разрушало озоновый слой).

Недостатки: тепловой насос продуктивно работает только в температурном диапазоне от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при температуре от $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ система вырабатывает больше тепла, чем требуется, а при отметке ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – недостаточно для обогрева), высокая стоимость теплового насоса, в установках старого типа в качестве хладагента использовался хлор-фтор-углерод, при утечках которого причиняется вред озоновому слою, низкая эффективность, т. к. в условиях суровых зим такие системы отопления не справляются с поставленной для них задачей.

Российская Федерация – земля с большим распространением вечной мерзлоты. В зоне многолетнемерзлых грунтов располагается больше 60 % земли страны; в ведущем это территория Средней и Восточной Сибири и северной части Дальнего Востока.

На территории вечной мерзлоты расположены такие города как: Анадырь, Магадан, Якутск, Норильск, Мирный, Воркута, на границах с Читой еще есть острова вечной мерзлоты. Город Якутск находится в регионе вечной мерзлоты, почва промерзает на довольно большую глубину, что делает особенно невыполнимым внедрение тепловой системы с горизонтальным коллектором в районах с вечной мерзлотой. Читинская область содержит долю территории в регионе вечной мерзлоты, где глубина промерзания земли выше 3,2 метра, что делает еще и нецелесообразным использование установки с горизонтальным коллектором в Читинской области в качестве источника теплоты для обогрева помещения [5-6].

В России в продаже есть большой выбор тепловых насосов иностранных производителей, так как отечественный рынок теплонаносной техники лишь только создается.

Более доступными по цене производителями ТН считаются такие государства как Китай, Чехия и США. Тепловые установки, изготавливаемые в Германии и Швеции, считаются более дорогими. По проведенным расчетам, цена 1 кВт тепловой геотермальной установки у иностранных производителей составляет 19 996 руб., цена воздушной тепловой незначительно превышает данную сумму и составляет 20 505 руб.

2. Расчет эффективности теплового насоса. Сопоставление цены на установку геотермальных и воздушных коллекторов с учетом расходов на перевозку, установку и наладочные работы демонстрирует, собственно, что тепловой насос с вертикальным расположением грунтового контура является самым дорогим – 102 279 руб. за 1 кВт мощности оборудования. Далее следует тепловой насос с горизонтальным расположением грунтового контура – 79 674 руб. Самой дешевой считается воздушная теплоустановка с 44 383 руб. за 1 кВт, потому что в качестве источника тепла применяется наружный воздух и не потребуются практически никаких дополнительных расходов на раскопку траншей, в следствие этого цена ТН понижается и определяется лишь стоимостью самого насоса и монтажных работ.

Срок окупаемости ТН прямо пропорционален капитальным затратам на его установку и обратно пропорционален экономии денежных средств, что равно затратам на отопление. Самый короткий срок окупаемости по расчетам наблюдается в восточных регионах России, где стоимость централизованного теплоснабжения довольно высока. Тарифы на тепловую энергию в городах РФ сильно отличаются, например, цена 1 Гкал энергии в г. Псков составляет 1720,94 руб., а в г. Сочи – 3008,82 руб. (т.е. тарифы разнятся в 2 раза).

Наименьший срок окупаемости в Петропавловск-Камчатском для геотермального насоса с горизонтальным контуром равен 8 годам, для тепловой установки с вертикальным коллектором – 10 лет, дальше идет Якутск – 13 лет. Наибольший срок окупаемости тепловых установок в Санкт-Петербурге (горизонтальный – 34 года, вертикальный – 47 лет) и Пскове (33 года и 46 лет соответственно), Сочи (30 лет и 41 год соответственно).

Отопление с использованием воздушных тепловых насосов [7, 8] вполне вероятно лишь только в двух городах из пяти представленных. Это города Сочи и Петропавловск-Камчатский, и срок окупаемости тепловых установок здесь выходит на 10 лет и 2 года соответственно.

Эксплуатационный срок теплового насоса ограничен лишь сроком службы компрессора, как единственного устройства, содержащего движущиеся части, срок службы которых составляет 25 лет. После этого периода компрессор необходимо заменить. Срок службы коллекторов достигает 50 лет. В таблице представлены расчеты денежных расходов на теплоснабжение за 25 лет с внедрением всевозможных источников тепловой энергии: централизованного теплоснабжения, электрического, твердотопливного и дизельного котла, воздушного теплового насоса, ТН с горизонтальным и вертикальным коллектором.

Таблица

Денежные затраты на теплоснабжение в течение 25 лет
с использованием различных источников тепловой энергии

№	Город	Затраты цтс, руб	Затраты электр., руб	Затраты тверд.т, руб	Затраты диз.т, руб.	Затраты ТН.гор, руб	Затраты ТН.вер, руб	Затраты ТН.возд, руб
1	Псков	828896	3155158	584311	9036394	262164	697210	-
2	Санкт-Петербург	805724	1598841	592047	9194213	285468	720521	-
3	Якутск	3522672	6867006	1150885	21360623	-	+1738536	-
4	Петропавловск-Камчатский	3176451	3374763	597260	11345886	+2335000	+2035181	+2922330
5	Сочи	450604	397511	111437	1616686	113610	287644	+270354

Примечание: «+» – прибыль от применения тепловых насосов.

Выводы. В большинстве из исследуемых населенных пунктов срок окупаемости тепловой установки меньше срока ее эксплуатации, что позволяет получить выгоду. На примере Петропавловск-Камчатского при применении воздушного теплового коллектора за 25 лет применения теплового насоса получили выгоду 2992330 руб.

Условия климата Санкт-Петербурга и Пскова не дают окупиться ни одним из типов тепловых насосов. В этом случае необходимо рассмотреть варианты теплоснабжения с поддержкой других источников энергии. Из вышеприведенной таблицы видно, что в Санкт-Петербурге тепловой насос с горизонтальным коллектором недоокупится на 285 468 руб. и на 720 521 руб. с коллектором вертикальным. Сопоставляя с другими источниками тепловой энергии выходит, что применение ТН, в том числе и в случае если срок их окупаемости превышает срок службы, является более рентабельным, поскольку траты за 25 лет будут меньше, чем траты на отопление дома при применении иных установок за то же время.

Полученные нами результаты позволяют судить о том, что, в условиях суровых зим тепловые насосы не справляются с отоплением помещения. Эффективно использовать ТН для обогрева в районах с мягким климатом, где температура никогда не опускается ниже 5-7 °С. Для отопления жилищ в городах, расположенных в северной части страны, лучше использовать тепловой насос дополнительно с установкой котла [9, 10, 11-22]. Возможно, еще использовать, как дополнение, электрические или инфракрасные обогреватели, а также камины. Необходимость использования дополнительных источников тепла в доме является еще одной причиной, по которой тепловой насос до сих пор проигрывает по популярности своим аналогам.

Библиографический список

1. **Васильев, Г. П.** Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в тепло-насосных системах / Г. П. Васильев, Н. В. Шилкин // АВОК. – 2003. – №2. – С.15-21.
2. **Куртова, Н. А.** Энергосберегающие инженерные системы в жилищном строительстве / Н. А. Куртова // Научный журнал. Оборудование Разработки Технологии. – 2011. – № 4-6. – С. 23-27.
3. **Хайнрих, Г.** Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, В. Нестлер // М.: Стройиздат, –1985. – 351 с.
4. **Васильев, Г. П.** Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России / Г.П. Васильев // Малая энергетика. – 2008. – № 3 (8). – С. 79-87.

5. **Исанова, А. В.** Оптимизация работы теплонасосной пофасадной системы отопления при соблюдении требуемых параметров теплового комфорта жилых зданий / А.В. Исанова, Г.Н. Мартыненко // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 3 (51). – С. 40-47.
6. **Isanova, A.V.** Optimization of operation of a heat-pump facade system of heating during observance of the required parameters of thermal comfort of residential buildings / A.V. Isanova, G.N. Martynenko, A.A. Sedaev // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 4 (40). – С. 6-14.
7. **Исанова, А. В.** Влияние параметров работы теплонасосной установки системы теплоснабжения на выбор энергосберегающего режима её функционирования / А. В. Исанова, Г. Н. Мартыненко, В. И. Лукьяненко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 2-1 (33). – С. 36-39.
8. **Исанова, А. В.** Определение расхода условного топлива в системе последовательно связанных тепловых насосов при энергоэффективном режиме работы / А. В. Исанова, В. И. Лукьяненко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12. № 3. – С. 36-40.
9. **Исанова, А. В.** Влияние КПД тепловых насосов теплонасосной станции на рациональные температуры конденсации рабочего тела тепловых насосов при малых относительных конечных разностях температур в их конденсаторах / А. В. Исанова, В. И. Лукьяненко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8. № 11. – С. 129-131.
10. **Панов, М. Я.** Перспективность использования гелиоустановок горячего водоснабжения / М. Я. Панов, Д. М. Чудинов, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 2 (42). – С. 33-39.
11. **Китаев, Д. Н.** Влияние современных отопительных приборов на регулирование тепловых сетей / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – Т. 2. – № 4 (17). – С. 49-55.
12. **Петрикеева, Н. А.** Влияние инсоляции на интенсивность тепlopоступлений в жилые помещения / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Инженерные системы и сооружения. – Воронеж: ВГАСУ. 2010. – Вып. № 2. – С. 100-103.
13. **Плаксина, Е. В.** Характерные особенности организации систем отопления и вентиляции в общественных помещениях / Е. В. Плаксина, Е.О. Кшевинская, Е. А. Лавлинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – №3 (20). – С. 77-83.
14. **Колосова, Н. В.** Теплообмен между газожидкостной смесью и охлаждающим элементом в теплообменных аппаратах / Н. В. Колосова, К. Н. Лапшина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 82.
15. **Булыгина, С. Г.** Разработка критериев для обоснования выбора схем и параметров систем централизованного теплоснабжения / С. Г. Булыгина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 1. – С. 9-16.
16. **Чудинов, Д. М.** Разработка алгоритма обоснования структуры энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии / Д. М. Чудинов, К. Н. Сотникова, М. Ю. Морозов, С. В. Чуйкин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 147-154.
17. **Петрикеева, Н. А.** Оптимизация систем теплоснабжения зданий с использованием возобновляемых источников энергии / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2. – С. 128-132.
18. **Мелькумов, В. Н.** Задача поиска оптимальной структуры тепловых сетей / В.Н. Мелькумов, И.С. Кузнецов, В.Н. Кобелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – №2. – С. 37-42.
19. **Мелькумов, В. Н.** Централизованное теплоснабжение от атомных станций / В. Н. Мелькумов, С. В. Чуйкин, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 2. – С. 40-47.
20. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 1 (41). – С. 21-28.
21. **Китаев, Д. Н.** Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – №2(3). – С.72-77.
22. **Чудинов, Д. М.** Разработка алгоритма обоснования структуры энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии / Д. М. Чудинов, К. Н. Сотникова, М. Ю. Морозов, С. В. Чуйкин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 147-154.

Для цитирования: **Серегина, Е. А.** Использование тепловых насосов для обогрева помещений в условиях России / Е. А. Серегина, Т. Бейман // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 16-21.

УДК 622.279.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ФОНТАННОЙ АРМАТУРЫ

С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, А. В. Потапова, И. С. Ращупкин, Д. А. Савельев

Воронежский государственный технический университет

*С. Н. Кузнецов, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: kuznetvrn@mail.ru*

*Г. А. Кузнецова, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: kuznetvrn@mail.ru*

*А. В. Потапова, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@ygasu.vrn.ru*

*И. С. Ращупкин, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@ygasu.vrn.ru*

*Д. А. Савельев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@ygasu.vrn.ru*

Введение. Важным элементом оборудования скважин для добычи газа являются пилотные устройства, функционально относящиеся к распределительно – предохранительным агрегатам. Пилотные устройства предназначены для аварийного отключения фонтанной арматуры.

Результаты. Поток газа из скважины сопровождается высокочастотными турбулентными пульсациями широкого спектра и низкочастотными колебаниями. Системы управления при неудачно выбранных параметрах устройств могут быть неустойчивыми. В неустойчивой системе возможны колебания с нарастающими во времени амплитудами физических величин, определяющих состояние системы.

Выводы. Полученные зависимости позволяют оптимальным образом выбрать параметры основных элементов пилотного устройства при его конструировании в зависимости от амплитудно-фазовой характеристики газового потока.

Ключевые слова: газовая скважина, аварийное отключение, математическая модель.

Введение. Одним из важных элементов оборудования скважин для добычи газа являются пилотные устройства, функционально относящиеся к распределительно – предохранительным агрегатам. Они состоят из мембранного разделителя и пилотов.

Пилотные устройства предназначены для аварийного отключения фонтанной арматуры. Они устанавливаются на шлейфе после дросселя фонтанной арматуры для автоматического сброса управляющего газа из системы управления боковой задвижкой в случае уменьшения или увеличения давления газа в шлейфе по сравнению с заданными значениями или на шлейфе до дросселя для автоматического сброса управляющего газа из системы управления подземным клапаном - отсекателем, коренной и боковыми задвижками (закрытия их) в случае уменьшения давления газа в шлейфе по сравнению с заданными значениями [1-6].

Математическая модель. Поток газа из скважины сопровождается высокочастотными турбулентными пульсациями широкого спектра и низкочастотными колебаниями. Системы управления при неудачно выбранных параметрах устройств могут быть неустойчивыми. В неустойчивой системе возможны колебания с нарастающими во времени амплитудами физических величин, определяющих состояние системы [2, 5, 7]. Поэтому важно определить частотные характеристики пилота на стадии его разработки. Пневмогидравлическая система пилотного устройства представляет собой последовательно соединенные:

- импульсные трубки, передающую импульс давления газа от шлейфа после дросселя фонтанной арматуры к мембранному разделителю;
- мембранный разделитель передающий импульс давления газа через гофрированную мембрану полиметилсилоксановой жидкости;
- трубки, передающую импульс давления полиметилсилоксановой жидкости пилоту;
- пилот, состоящий из поршня, на который с одной стороны действует давление полиметилсилоксановой жидкости, а с другой стороны – пружина.

Шток поршня пилота, при повышении давления газа в шлейфе выше критического, смещается и передает управляющее воздействие через клапан на газовую линию, управляющую клапаном - отсекателем.

Частотные характеристики пневмогидравлических устройств оцениваются по его амплитудно – фазовой характеристике [4, 6]. При этом входной величиной считают давление газа на входе в импульсную трубку, а выходной – перемещение поршня, нагруженного пружиной. В устройстве используется полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС-20, имеющая кинематическую вязкость $20 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Это позволяет предположить, что при колебаниях жидкости в трубке сохраняется ламинарный режим течения, можем применить соответствующий этим условиям импеданс системы:

$$Z_{pQ}(j\omega) = \frac{p_1(j\omega) - p_2(j\omega)}{Q(j\omega)}, \quad (1)$$

где $p_1(j\omega)$ – комплексное входное давление; $p_2(j\omega)$ – комплексное давление на поршень; $Q(j\omega)$ – комплексный объемный расход жидкости; ω – угловая частота колебаний потока газа.

Откуда

$$p_2(j\omega) = p_1(j\omega) - Z_{pQ}(j\omega)Q(j\omega). \quad (2)$$

Давление p_2 связано с перемещением поршня x_n уравнением движения поршня, которое запишем, пренебрегая силами трения, в виде

$$m_n \frac{d^2 x_n}{dt^2} + c_{np} x_n = F_n p_2, \quad (3)$$

где m_n – масса поршня, кг; $F_n = \frac{\pi d_n^2}{4}$ – рабочая площадь поршня, м²; c_{np} – жесткость пружины.

При гармонических колебаниях поршня решение уравнения (3) найдем в комплексной форме

$$\left(\frac{c_{np}}{F_n} - \frac{m_n \omega^2}{F_n} \right) x_n(j\omega) = p_2(j\omega). \quad (4)$$

По уравнению неразрывности расход Q жидкости, протекающей по трубке при колебаниях поршня

$$Q = F_n \frac{dx_n}{dt}, \quad (5)$$

Откуда

$$Q(j\omega) = j\omega F_n x_n(j\omega). \quad (6)$$

Решая совместно уравнения (2), (4) и (5), получаем

$$\left[\frac{c_{np}}{F_n} - \frac{m_n \omega^2}{F_n} + j\omega F_n (Z_{pQ1}(j\omega) + Z_{pQ2}(j\omega)) \right] \cdot x_n(j\omega) = p_1(j\omega), \quad (7)$$

где $Z_{pQ1}(j\omega)$ и $Z_{pQ2}(j\omega)$ – соответственно импеданс импульсной трубки, заполненной газом, и трубки, заполненной полиметилсилоксановой жидкостью.

После подстановки в уравнение (7) импеданса находим:

$$\begin{aligned} & 1 - \frac{\omega^2 m_n}{c_n} \left(1 + \frac{F_n^2 \chi_{p1} \beta_1 \rho_1 l_1}{m_n \pi r_{01}^2} + \frac{F_n^2 \chi_{p2} \beta_2 \rho_2 l_2}{m_n \pi r_{02}^2} \right) + \\ & + j \left(\frac{8F_n^2 \omega \chi_{a1} \rho_1 \nu_1 l_1}{c_{np} \pi r_{01}^4} + \frac{8F_n^2 \omega \chi_{a2} \rho_2 \nu_2 l_2}{c_{np} \pi r_{02}^4} \right) = \quad , \quad (8) \\ & = \frac{p_1(j\omega)}{\frac{c_{np}}{F_n} x_n(j\omega)} \end{aligned}$$

где $\chi_p \beta$ – корректив реактивного сопротивления трубки; χ_a – корректив активного сопротивления трубки; ρ – плотность газа или жидкости, кг/м³; l – длина трубки, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с; r_0 – внутренний радиус трубки, м. Индекс 1 относится к импульсной трубке, заполненной газом; индекс 2 – к трубке, заполненной полиметилсилоксановой жидкостью.

Введем следующие параметры: коэффициент приведения массы газа и жидкости, находящейся в трубке, к массе поршня

$$k_m = 1 + \frac{\pi d_n^4 \chi_{n1} \beta_1 \rho_1 l_1}{4m_n d_{01}^2} + \frac{\pi d_n^4 \chi_{n2} \beta_2 \rho_2 l_2}{4m_n d_{02}^2}, \quad (9)$$

собственную частоту недемпфированных колебаний поршня находим по формуле

$$\omega_{n0} = \sqrt{\frac{c_{np}}{k_m m_n}}, \quad (10)$$

и коэффициент относительного демпфирования

$$\zeta_n = \frac{4\pi d_n^4 \chi_{a1} \rho_1 \nu_1 l_1}{d_{01}^4 \sqrt{k_m m_n c_{np}}} + \frac{4\pi d_n^4 \chi_{a2} \rho_2 \nu_2 l_2}{d_{02}^4 \sqrt{k_m m_n c_{np}}}. \quad (11)$$

Учитывая соотношения (9) – (11), представим уравнение (8) в виде

$$\frac{c_{np}}{F_n} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{no}^2} + j \frac{2\omega\zeta_n}{\omega_{no}} \right) x_n(j\omega) = p_1(j\omega). \quad (12)$$

Из уравнения (12) получаем амплитудно-фазовую частотную характеристику системы импульсная трубка – мембранный разделитель – пилот.

$$W_{xp}(j\omega) = \frac{x_n(j\omega)}{p_1(j\omega)} = \frac{F_n}{c_{np} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{no}^2} + j \frac{2\omega\zeta_n}{\omega_{no}} \right)}, \quad (13)$$

Отношение амплитуды перемещения x_n поршня к амплитуде давления p_1 , а также сдвиг по фазе между этими величинами в зависимости от частоты колебаний поршня находятся соответственно по амплитудной и фазовой частотным характеристикам.

Амплитудная частотная характеристика

$$A_{xp}(\omega) = \text{mod} W_{xp}(j\omega) = \frac{F_n}{c_{np} \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{no}^2} \right)^2 + \frac{4\zeta_n^2 \omega^2}{\omega_{no}^2}}}, \quad (14)$$

фазовая частотная характеристика

$$\varphi_{xp}(\omega) = -\text{arctg} \frac{2\omega\zeta_n}{\omega_{no} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{no}^2} \right)}. \quad (15)$$

Максимум $A_{xp}(\omega)$ достигается при резонансной частоте, которая связана с собственной частотой недемпфированных колебаний соотношением

$$\omega_{np} = \omega_{no} \sqrt{1 - 2\zeta_n^2}. \quad (16)$$

Подставив в формулу (14) $\omega = \omega_{np}$ и учитывая соотношение (16) находим

$$A_{xp}(\omega) = \frac{F_n}{2c_{np}\zeta_n\sqrt{1-\zeta_n^2}}. \quad (17)$$

При $\omega = \omega_{no}$ относительная амплитуда

$$A_{xp}(\omega) = \frac{F_n}{2c_{np}\zeta_n}. \quad (18)$$

Выводы. Полученные зависимости позволяют оптимальным образом выбрать параметры основных элементов пилотного устройства c_{np} , F_n и m_n при его конструировании в зависимости от амплитудно-фазовой характеристики газового потока [1, 8-14].

Библиографический список

1. **Кузнецов, С. Н.** Моделирование распространения вредных веществ в смежных помещениях / С. Н. Кузнецов, К. А. Скляр, А. В. Черемисин // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. – №1. – С.108-112.
2. **Кузнецов, С. Н.** Управление надежностью газораспределительных сетей / С. Н. Кузнецов, П. А. Головинский, А. В. Черемисин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 36-42.
3. **Мелькумов, В. Н.** Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 99-107.
4. **Петрикеева, Н. А.** Экологический эффект при полном сгорании топлива в котельных установках / Н. А. Петрикеева, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 108-113.
5. **Мелькумов, В. Н.** Повышение надежности внутридомового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 32-40.
6. **Мелькумов, В. Н.** Моделирование процесса ремонта внутридомового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 14-23.
7. **Кузнецов, С. Н.** Составление карт влияющих факторов при определении оптимальной трассы автомобильной дороги / С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, А. Г. Мкртчян // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 4-3 (17). – С. 202-206.
8. **Мартыненко, Г. Н.** Применение методологии факторного анализа для моделирования дроссельных характеристик газораспределительных систем / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов, И. С. Капошин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 7. – С. 99-103.
9. **Мартыненко, Г. Н.** Применение факторного анализа для обоснования санации изношенных газопроводов / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 9. – С. 110-112.
10. **Панов, М. Я.** Многофакторный анализ городских систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Газовая промышленность. – 2003. – № 4. – С. 38-39.
11. **Колосов, А. И.** Исследование влияния условий эксплуатации на прочностные характеристики трубопроводов систем теплогазоснабжения / А. И. Колосов, О. А. Сотникова, Г. Н. Мартыненко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 113-118.
12. **Колосов, А. И.** Ликвидация последствий аварий на инженерных системах теплогазоснабжения / А. И. Колосов, О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 118-124.
13. **Сотникова, О. А.** Применение нетрадиционных возобновляемых источников энергии при решении проблем энергоснабжения и экологической безопасности / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, А. И. Колосов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 80-87.
14. **Петрикеева, Н. А.** Зависимость концентрации оксидов азота от величины теплотерь с уходящими дымовыми газами теплогенерирующих установок / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 2. – С. 105.

Для цитирования: **Кузнецов, С. Н.** Моделирование устройства аварийного отключения фонтанной арматуры / С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, А. В. Потапова, И. С. Рашупкин, Д. А. Савельев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С.22-26.

УДК 697.9

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ВЫСОТЕ ПОМЕЩЕНИЯ

С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, Б. М. Алиев, Д. С. Измалков, М. А. Мостовой

*Воронежский государственный технический университет**С. Н. Кузнецов, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: kuznetvrn@mail.ru**Г. А. Кузнецова, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: kuznetvrn@mail.ru**Б. М. Алиев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@ygasu.vrn.ru**Д. С. Измалков, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@ygasu.vrn.ru**М. А. Мостовой, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@ygasu.vrn.ru*

Введение. Важной проблемой эксплуатации зданий производств, использующих различные газы, является удаление газовых примесей, поступающих в воздух помещения.

Результаты. Получена математическая модель распределение концентраций вредных веществ по высоте помещения в виде системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений.

Выводы. Разработанный подход позволяет изучить динамику концентрации газа в помещении с учетом коэффициента неравномерности его распределения по высоте помещения. Это дает возможность более точного выбора воздухообмена в помещении и позволяет снизить затраты на вентиляцию.

Ключевые слова: вредные вещества, вентиляция, математическая модель.

Введение. Важной проблемой эксплуатации зданий производств, использующих различные газы, является удаление газовых примесей, поступающих в воздух помещения. Движение газоздушных смесей отличается от движения воздуха, т.к. в этом случае изменяется плотность воздуха. Возможно возникновение естественной и вынужденной конвекции.

Математическая модель. Для оценки неравномерности распределения газа по высоте помещения используется коэффициент [1-7]:

$$m_2 = \frac{c - c_n}{c_{yx} - c_n}, \quad (1)$$

где c – концентрация газа в рабочей зоне, мг/м³; c_n – концентрация газа в приточном воздухе, мг/м³; c_{yx} – концентрация газа в удаляемом из помещения воздухе, мг/м³.

Значение коэффициента m_2 зависит от способа воздухораспределения, типа воздухораспределительного устройства, взаимного расположения приточных и вытяжных отверстий относительно источников теплогазовыделений и ряда других факторов. Для некоторых производств m_2 приведен в работах [1, 2].

Выразим концентрацию газа в удаляемом воздухе через m_2 :

$$c_{yx} = c_n + \frac{c - c_n}{m_2}. \tag{2}$$

Рассмотрим систему из двух сообщающихся между собой объемов помещения, приведенную на рис. 1.

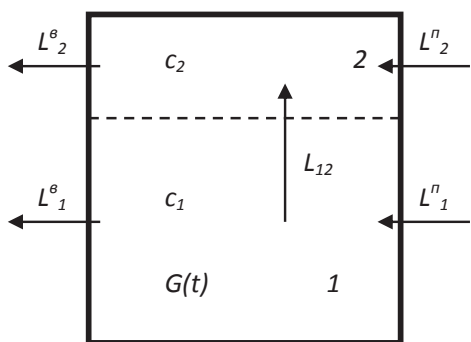


Рис. 1. Схема взаимодействия двух объемов помещения: L_1^e, L_2^e – величина вытяжки из первого и второго объема помещения соответственно, m^3/c ; L_1^n, L_2^n – величина притока в первый и второй объем помещения соответственно, m^3/c ; L_{12} – объем воздуха, перетекающего из первого объема во второй, m^3/c ; c – концентрации газа, mg/m^3 ; $G(t)$ – интенсивность источника газа, mg/c

Составим 2 уравнения материального баланса по газу, соответствующие каждому объему:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1^n c_n dt + A \frac{S}{l} (c_2 - c_1) dt + G(t) dt - \\ - L_1^e c_1 dt - L_{12} c_1 dt = V_1 dc_1 \\ L_2^n c_n dt + L_{12} c_1 dt + A \frac{S}{l} (c_1 - c_2) dt - \\ - L_2^e c_{yx} dt = V_2 dc_2 \end{array} \right. , \tag{3}$$

где t – время, с; A – средний по помещению коэффициент турбулентного обмена m^2/c ; S – площадь помещения, m^2 ; l – расстояние между центрами объемов, м; V – величины объемов, m^3 .

Подставляя значение c_{yx} из выражения (2) в уравнения (3) получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1^n c_n dt + A \frac{S}{l} (c_2 - c_1) dt + G(t) dt - \\ - L_1^e c_1 dt - L_{12} c_1 dt = V_1 dc_1 \\ L_2^n c_n dt + L_{12} c_1 dt + A \frac{S}{l} (c_1 - c_2) dt - \\ - L_2^e (c_n + \frac{c_2 - c_n}{m_2}) dt = V_2 dc_2 \end{array} \right. . \tag{4}$$

Преобразуя уравнения (4), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{c}_1 = k_{11}c_1 + k_{12}c_2 + g_1(t) \\ \dot{c}_2 = k_{21}c_1 + k_{22}c_2 \end{cases} \quad (5)$$

Начальным условием для решения системы (5) является: $t=0, c_1=c_{10}, c_2=c_{20}$.

В качестве примера используем полученную модель для расчета изменения концентраций газа в помещении длиной 10 м, шириной 6 м и высотой 5 м. Помещение было разделено на два объема высотой 4 м и 1 м. Объем притока в первый объем составлял 720 м^3 . Интенсивность выделения газа составляла 100 мг/м^3 . Средний коэффициент турбулентного обмена принимался равным $0,35 \text{ м}^2/\text{с}$ [3, 5].

2. Результаты расчетов. Система дифференциальных уравнений (5) решалась численно в среде пакета программ MathCad 2000. Полученные результаты приведены на рис. 2.

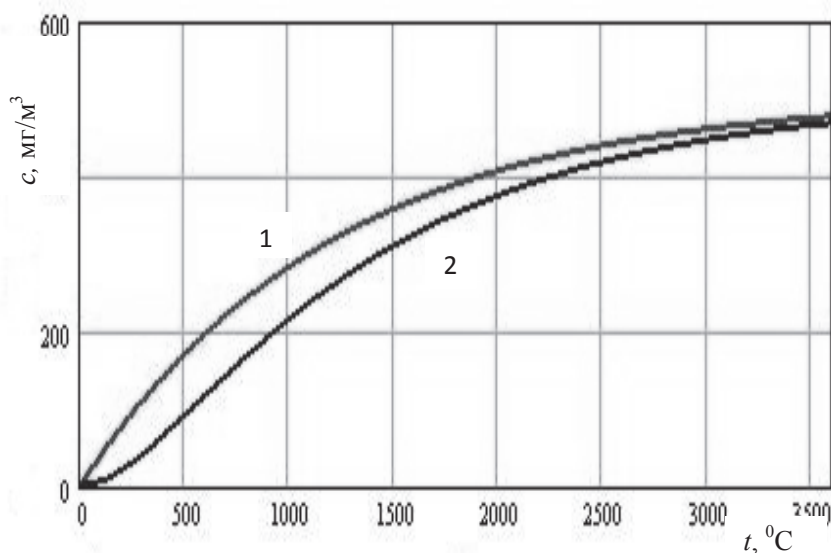


Рис. 2. Изменение концентраций газа в объемах: 1, 2 – концентрация в первом и втором объеме

Выводы. Таким образом, разработанный подход позволяет изучить динамику концентрации газа в помещении с учетом коэффициента неравномерности его распределения по высоте помещения. Это дает возможность более точного выбора воздухообмена в помещении и позволяет снизить затраты на вентиляцию [7-20].

Библиографический список

1. Кузнецов, С. Н. Моделирование распространения вредных веществ в смежных помещениях / С. Н. Кузнецов, К. А. Скляр, А. В. Черемисин // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. – №1. – С.108-112.
2. Кузнецов, С. Н. Управление надежностью газораспределительных сетей / С. Н. Кузнецов, П. А. Головинский, А.В. Черемисин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 36-42.

3. **Мелькумов, В. Н.** Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 99-107.
4. **Петрикеева, Н. А.** Экологический эффект при полном сгорании топлива в котельных установках / Н. А. Петрикеева, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 108-113.
5. **Мелькумов, В. Н.** Повышение надежности внутримодового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 32-40.
6. **Мелькумов, В. Н.** Моделирование процесса ремонта внутримодового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 14-23.
7. **Кузнецов, С. Н.** Составление карт влияющих факторов при определении оптимальной трассы автомобильной дороги / С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, А. Г. Мкртчян // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 4-3 (17). – С. 202-206.
8. **Сотникова, О. А.** Экологическая безопасность вентилируемых помещений ресторанных комплексов / О. А. Сотникова, С. Г. Булыгина // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 154-163.
9. **Плужникова, В. Р.** Качество внутреннего воздуха и его влияние на тепловой комфорт человека / В. Р. Плужникова, А. А. Вагина, Т. Л. Борисова, С. Г. Тульская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 2 (19). – С. 76-82.
10. **Глазков, С. С.** Снижение концентрации загрязняющих веществ в вентиляционных выбросах при неблагоприятных метеоусловиях и аварийных ситуациях / С. С. Глазков, А. А. Седаев, С. В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 91-98.
11. **Чуйкин, С. В.** Конструктивные решения по снижению концентрации загрязняющих веществ в аварийном вентиляционном выбросе с помощью подмешивания / С. В. Чуйкин, К. С. Ситонов, О. В. Свищев, Л. Д. Карпов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8). – С. 10-15.
12. **Полосин, И. И.** Эффективные конструктивные решения по снижению концентрации загрязняющих веществ в выбросах предприятий пищевой промышленности / И. И. Полосин, М. Н. Жерлыкина, С. В. Чуйкин // Экология и промышленность России. – 2011. – № 9. – С. 8-9.
13. **Жерлыкина, М. Н.** Обеспечение экологической безопасности окружающей среды от выбросов пищевой промышленности / М. Н. Жерлыкина, С. В. Чуйкин // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 288-295.
14. **Жерлыкина, М. Н.** Дифференциация способов очистки воздуха при выбросах вредных веществ химических производств / М. Н. Жерлыкина, С. В. Чуйкин, С. А. Соловьев, А. В. Потапов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1. – С. 264-268.
15. **Петрикеева, Н. А.** Экологический эффект при полном сгорании топлива в котельных установках / Н. А. Петрикеева, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 108-113.
16. **Петрикеева, Н. А.** Влияние величины тепловых выбросов на концентрацию оксидов азота в дымовых газах теплогенераторов / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина, Д. А. Письменный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1. – С. 234-237.
17. **Лысенко, Э. Н.** Определение суммарной безразмерной концентрации выбросов загрязняющих веществ / Э. Н. Лысенко, Н. А. Петрикеева, Н. В. Шуменко, Ю. С. Денисова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1. – С. 244-248.
18. **Кузнецова, Г. А.** Мониторинг надежности распределительных инженерных сетей / Г. А. Кузнецова, И. В. Личковаха, Е. В. Маюнтов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2. – С. 14-20.
19. **Павлюков, С. П.** Анализ состава и продолжительности эксплуатации газового оборудования / С. П. Павлюков, Г. А. Кузнецова, А. Н. Кобелев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8). – С. 16-23.
20. **Мелькумов, В. Н.** Повышение надежности внутримодового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 32-40.

Для цитирования: **Кузнецов, С. Н.** Распределение концентраций вредных веществ по высоте помещения / С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, Б. М. Алиев, Д. С. Измалков, М. А. Мостовой // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 27-30.

УДК 621.644.073

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЕ

С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, Е. А. Губанова, В. А. Мурашкин,
Д. В. Сазонов, А. А. Ольховский

Воронежский государственный технический университет

*С. Н. Кузнецов, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: kuznetvrn@mail.ru*

*Г. А. Кузнецова, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: kuznetvrn@mail.ru*

*Е. А. Губанова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

*В. А. Мурашкин, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

*Д. В. Сазонов, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

*А. А. Ольховский, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Введение. Важной проблемой эксплуатации газораспределительных сетей является своевременное выявление мест утечки газа при помощи диагностических скважин.

Результаты. Разработана математическая модель распространения природного газа в скважине для обнаружения мест его утечки. Составлена программа, реализующая математическую модель. Получена количественная оценка распределения газа в скважине.

Выводы. Разработанный подход позволяет изучить динамику концентрации газа в диагностических скважинах, что позволяет более точно выявлять места утечки газа.

Ключевые слова: утечка газа, диагностическая скважина, математическая модель.

Введение. При эксплуатации газораспределительных сетей важной задачей является своевременное выявление мест утечки газа. Утечки трудны для обнаружения и поэтому, накапливая потери во времени, приводят к значительному материальному и экологическому ущербу, являются предвестниками аварий.

С целью проверки герметичности подземного газопровода и для обнаружения мест утечек газа допускается производить бурение скважин. Скважины закладываются на расстоянии не менее 0,5 м от стенки газопровода через каждые 2 м глубиной не менее глубины промерзания грунта в зимнее время, в остальное время - на глубину укладки трубы. При использовании высокочувствительных приборов для определения наличия газа глубина скважин может быть уменьшена с целью их закладки вдоль оси газопровода.

Важным фактором, влияющим на определение наличия примеси газа в воздухе скважины является способ отбора проб, который должен учитывать неравномерность распределения газа по высоте скважины.

1. Математическая модель. Пусть имеется скважина, через стенки которой из грунта поступает природный газ. Рассмотрим уравнения основных физические процессов распространения газа в скважине [1, 2].

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; t – время, с; x_i – i -я пространственная координата, м; u_i – i -я компонента скорости течения воздуха, м/с.

Уравнение Навье - Стокса, осредненное по Рейнольдсу:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_{eff}^u \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) - \\ & - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_{eff}^u \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k) - \delta_{i3} \rho g \end{aligned} \quad (2)$$

где p – давление, Па; Γ_{eff}^u – коэффициент диффузии для переменной u , кг/м·с; k – кинетическая энергия турбулентности, м²/с²; g – ускорение свободного падения, м/с².

Перенос кинетической энергии турбулентности определяется уравнением:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_{eff}^k \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G^k + G^b - \rho \varepsilon, \quad (3)$$

где G^k, G^b – скорость образования турбулентности, кг/м·с³; ε – скорость диссипации турбулентной энергии, м²/с³.

Скорость диссипации турбулентной энергии определяется уравнением [3]:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_{eff}^\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 (G^k + G^b) - C_2 \rho \varepsilon), \quad (4)$$

где C_1, C_2 – константы k – ε модели турбулентности.

Скорость образования турбулентности:

$$G^k = 2\mu_t \left(\sum_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right)^2 \right) + \mu_t \left(\sum_{i>j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2 \right), \quad (5)$$

где μ_t – турбулентная динамическая вязкость, кг/м·с.

$$G^b = \mu_t g \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_3}, \quad (6)$$

$$\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\varepsilon}, \quad (7)$$

$$\mu_{eff} = \mu_l + \mu_t, \quad (8)$$

$$\Gamma_{eff}^{\Phi} = \frac{\mu_{eff}}{\sigma^{\Phi}}. \quad (9)$$

где C_{μ} – эмпирический коэффициент; μ_{eff} – эффективная динамическая вязкость, кг/м·с; μ_l – ламинарная динамическая вязкость, кг/м·с; σ^{Φ} – число Шмидта.

Перенос теплоты описывается уравнением:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_{eff}^h \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) + Q. \quad (10)$$

Уравнение массообмена:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho c^{\alpha}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i c^{\alpha}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_{eff}^{\alpha} \frac{\partial c^{\alpha}}{\partial x_i} \right) + g^{\alpha}, \quad (11)$$

где c^{α} – концентрация α – компоненты газовой смеси; g^{α} – скорость поступления газа в скважину, кг/м³·с.

Уравнение состояния для газовой смеси:

$$\rho = \frac{P_0}{R_0 T} \sum_{\alpha} \frac{c^{\alpha}}{M^{\alpha}}, \quad (12)$$

где P_0 – атмосферное давление, Па; R_0 – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К; T – абсолютная температура, К; M^{α} – молярная масса; α – компоненты газовой смеси, кг/моль.

Решается краевая задача для осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса с граничными условиями прилипания на твердых границах и невозмущенности набегающего потока. Начальные условия – начальное распределение скоростей, давлений и концентраций газа в скважине.

Для численного решения уравнений математической модели использован неявный численный метод установления [3, 4]. Дискретный аналог строится на основе монотонных балансных разностных схем. Уравнение для расчета давления выводится на основе разностного уравнения неразрывности [4]. Для решения полученной системы используется неявный метод установления; линеаризованные на шаге установления разностные уравнения решаются методом неполной факторизации, при этом для расчета давления используется метод неполной факторизации [5]. Математическая модель реализована в виде программы на языке программирования C++.

2. Результаты расчетов. При помощи разработанной программы исследовано нестационарное поле концентраций природного газа в скважине при его утечке из подземного газопровода. Для численного исследования была рассмотрена скважина диаметром $d=50$ мм и глубиной $H=1000$ мм. Природный газ поступает в скважину из слоя грунта, ограниченного глубиной $h_g=240$ мм - $h_n=700$ мм со скоростью 0,001 м/с. Устье скважины подвергается действию ветра, движущегося вдоль поверхности земли со скоростью 0,3 м/с. В начальный момент времени скорость газовой смеси и концентрация газа в скважине равны нулю.

В расчетах использовалась сетка с логарифмическим сгущением к поверхности твердой границы. Результаты численного эксперимента приведены на рис. 1. Получена картина распределения газа в скважине.

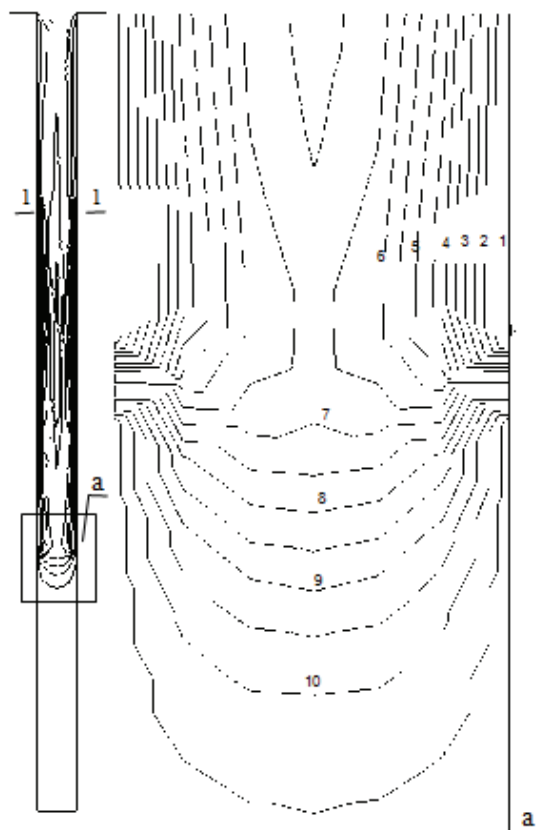


Рис. 1. Поле концентраций газа в скважине в момент времени $t=60\text{с}$; относительные концентрации: 1 - 0,95; 2 - 0,85; 3 - 0,75; 4 - 0,65; 5 - 0,55; 6 - 0,45; 7 - 0,35; 8 - 0,25; 9 - 0,15; 10 - 0,05

Выводы. Разработанный подход позволяет изучить динамику концентрации газа в диагностических скважинах, что позволяет более точно выявлять места утечки газа.

Библиографический список

1. Кузнецов, С. Н. Моделирование распространения вредных веществ в смежных помещениях / С. Н. Кузнецов, К. А. Скляров, А. В. Черемисин // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. – №1. – С.108-112.
2. Кузнецов, С. Н. Управление надежностью газораспределительных сетей / С. Н. Кузнецов, П. А. Головинский, А. В. Черемисин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 36-42.
3. Мелькумов, В. Н. Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 99-107.
4. Мелькумов, В. Н. Повышение надежности внутридомового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 32-40.
5. Мелькумов, В. Н. Моделирование процесса ремонта внутридомового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 14-23.

Для цитирования: Кузнецов, С. Н. Распределение концентраций природного газа в диагностической скважине / С. Н. Кузнецов, Г. А. Кузнецова, Е. А. Губанова, В. А. Мурашкин, Д. В. Сазонов, А. А. Ольховский // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 31-34.

УДК 640:658.26

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТЕПЛЫХ ПОЛОВ С УЧЕТОМ МИНИМИЗАЦИИ ТЕПЛОПOTЕРЬ В ГРУНТ НА ПРИМЕРЕ ПЕНОПЛЭКС

А. А. Кремнева, Л. С. Коровина, В. Г. Полуэктова

Воронежский государственный технический университет

*А. А. Кремнева, студентка кафедры жилищно-коммунального хозяйства
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)851-18-23, e-mail: anya-kremneva@mail.ru*

*Л. С. Коровина, студентка кафедры жилищно-коммунального хозяйства
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)548-58-27, e-mail: lida48korowina-ru2013@yandex.ru*

*В. Г. Полуэктова, магистр кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(900)304-62-51, e-mail: glen2009@mail.ru*

Постановка задачи. Анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения показывает, что одним из наиболее эффективных путей ее решения является сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции и полы зданий. В этой связи актуально изучение направлений развития теплотехнического строительства. Рассматривается актуальность применения различных теплоизоляционных материалов.

Результаты. Были проведены расчеты по выявлению наиболее экономичного и технологичного варианта материала теплоизоляции для теплых полов на примере плит пеноплэкс и вермикулитобетона. Были определены требуемые термические сопротивления каждого образца, а также определена толщина теплоизоляции.

Выводы. На основании полученных данных были сделаны выводы об энергоэффективности и экономичности использования плит пеноплэкс.

Ключевые слова: энергосбережение, теплопотери, теплый пол, теплоизоляция, пеноплэкс.

Введение. Продолжающийся рост стоимости энергии и новые требования к тепловой защите зданий делают неприемлемым строительство массивных полов из традиционных материалов.

Теплоизоляция – ключевой элемент стратегии энергоэффективности в строительстве. Она признается важнейшим инструментом, влияющего на энергоэффективность строений. Одно из основных путей повышения энергоэффективности зданий – применение современных и высокоэффективных теплоизоляционных материалов.

Актуальность задачи по утеплению железобетонных полов связана, прежде всего, с распространением данных конструкций практически во всех сферах промышленного и гражданского строительства. Железобетонные перекрытия могут служить основанием для полов с различной функцией, например:

- полов в жилых домах;
- полов на объектах коммерческой недвижимости с высокой проходимостью: в торгово-развлекательных комплексах, бизнес-центрах, зданий административного и общественного назначения;
- железобетонных полов промышленных зданий, в частности, нагружаемых полов цеха, полов под оборудование;
- полов под погрузчик в складских помещениях;
- полов для автотранспорта на станциях техобслуживания и в многоэтажных паркингах и т.д.

На нижнюю часть помещения приходится около 20 % потерь тепла. Следовательно, еще на стадии проектирования пола над неотапливаемым пространством (включая фундаменты на винтовых сваях) или полов по грунту (включая малозаглубленные фундаменты) должна быть предусмотрена качественная теплоизоляция. Это позволит значительно сэкономить расходы на отопление и обеспечить комфорт, немаловажным условием которого, как известно, является приемлемая температура воздуха вблизи поверхности пола. Кроме того, утепление полов дает возможность наилучшим образом использовать их теплоемкость [1].

Еще с 2009 года, с принятием закона № 261-ФЗ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности и внесение изменений в отдельные законодательные акты РФ» применение теплосберегающих технологий предписывается на федеральном уровне.

Рассмотрим недавно появившийся на рынке Пеноплэкс – теплоизоляционные плиты из вспененного экструзионного пенополистирола, отвечающие требованиям ТУ 5767-56925804-2007. Производители этого материала в большей степени предлагают его в качестве утеплителя для ограждающих конструкций и крыш. Но в разработке есть также и устройство теплого пола с использованием плит Пеноплэкс, которое недостаточно изучено.

1. Утепление полов по железобетонному основанию плитами из экструзионного пенополистирола пеноплэкс. Конструкции полов по железобетонному основанию могут выполняться на грунтовом основании, на бетонном подстилающем слое или на удалении от грунта основания (ж/б перекрытия) (рис.1). Теплоизоляционный слой укладывается на подготовленное и выровненное основание (неровности железобетонной поверхности устраняются путем применения выравнивающей цементно-песчаной стяжки).

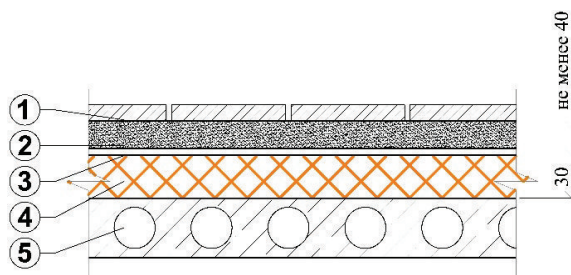


Рис. 1. Принципиальная схема утепления пола по грунту в зданиях без подвала:
1 - покрытие пола; 2 - цементно-песчаная стяжка; 3 - полиэтилен; 4 - теплоизоляция пеноплэкс;
5 - железобетонная плита перекрытия 1-го этажа

Утепление полов по железобетонному основанию производится для уменьшения потерь тепла. При использовании плит Пеноплэкс пол может быть снабжен системой электрического или водяного обогрева (рис.2). Конструкция полов первого этажа возможна над вентилируемым подпольем (рис. 3). Последовательность работ при утеплении полов по железобетонному основанию:

- железобетонная поверхность выравнивается при помощи цементно-песчаной стяжки или выравнивающей смесью тонким слоем;
- теплоизоляционный слой из плит пеноплэкс свободно укладывается на поверхности (без необходимости механической или клеевой фиксации);
- на поверхности теплоизоляции устраивается слой из полиэтилена, толщиной 200 мкм в один или два слоя;
- защитно-распределительный слой выполняется при помощи цементно-песчаной стяжки, толщиной не менее 40 мм или сборной листовой стяжкой (два слоя ГВЛ, ЦСП и т.п. толщиной 10 мм каждый);
- выполняется финишное покрытие (керамическая плитка, паркет и т.п.).

Теплоизолированные полы обладают рядом преимуществ в сравнении с аналогичными конструкциями без применения теплоизоляции [2]: выполняется финишное покрытие (керамическая плитка, паркет и т.п.)

Теплоизолированные полы обладают рядом преимуществ в сравнении с аналогичными конструкциями без применения теплоизоляции [2]:

1. Снижение тепловых потерь сооружения;
2. Повышение комфорта внутри помещения и устранение проблемы «холодных полов»;
3. Устранение «мостиков холода» и ликвидация условия для развития грибковых образований (плесень);
4. Возможность монтажа системы теплых полов с греющими элементами.

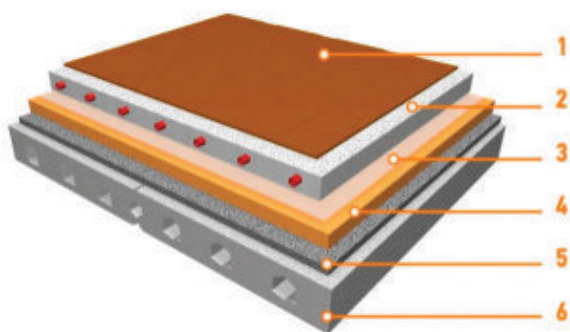


Рис. 2. Полы первых этажей по бетонной плите:
1 – верхнее покрытие пола (плитка); 2 – стяжка с нагревательными элементами; 3 – полиэтилен; 4 – пеноплекс; 5 – выравнивающая стяжка; 6 – перекрытие из сборного железобетона

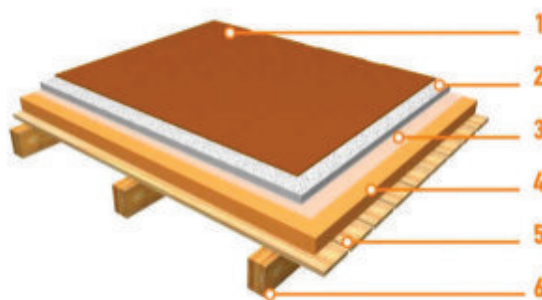


Рис. 3. Полы первого этажа над вентилируемым подпольем: 1 – верхнее покрытие пола (плитка); 2 – цементно-песчаная стяжка; 3 – пароизоляция; 4 – пеноплекс; 5 – деревянные доски; 6 – балки

Технические характеристики плит пеноплекс приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики плит пеноплекс

Наименование показателя	Ед. изм.	Пеноплекс фундамент	Пеноплекс комфорт
Средняя плотность	кг/м ³	29-33	25-35
Прочность на сжатие при 10 % деформации, не менее	МПа	0,27	0,20
Предел прочности при статическом изгибе, не менее	МПа	0,40	0,25
Водопоглощение за 24 часа, по объему, не более	%	0,4	0,4
Теплопроводность при (25±5) °С, не более	Вт/(м.К)	0,03	0,03
Группа горючести	-	Г4	Г4

Полы первых этажей или расположенных над неотапливаемым помещением без теплоизоляции могут привести к потере 20 % тепла, поскольку через неизолированные полы тепло отводится в грунт, в неотапливаемые помещения и окружающее пространство. Помимо уменьшения потерь тепла изоляция полов позволяет более эффективно использовать их теплоемкость. Пеноплекс позволяет существенно увеличить эффективность работы систем электрического либо водяного обогрева, в результате

Преимущества пеноплекс:

- высокая прочность на сжатие, не менее 0,30 Мпа (30 т/м²);
- нулевое водопоглощение;
- коэффициент теплопроводности 0,032 Вт/м²К;
- удобная геометрия плит пеноплекс;
- возможность монтажа при любых погодных условиях;
- наличие Г-образной кромки по всем сторонам;
- абсолютная биостойкость;
- удобство монтажа при устройстве водяных и электрических теплых полов;
- экологичность: при нагревании не выделяют токсичных веществ;
- долговечность более 50-ти лет.

Расчет теплового потока теплых полов определяет теплотребление жилого дома согласно нормативным документам о тепловой защите зданий и строительной теплотехнике.

В нашем случае рассматривается устройство теплого пола в помещении детской комнаты в коттедже (рис. 4). В первом варианте в качестве утеплителя был использован обычный вермикулитобетон, во втором – плиты марки пеноплекс. Целью расчета является нахождение толщины теплоизоляционного слоя для минимизации теплотерь в грунт.

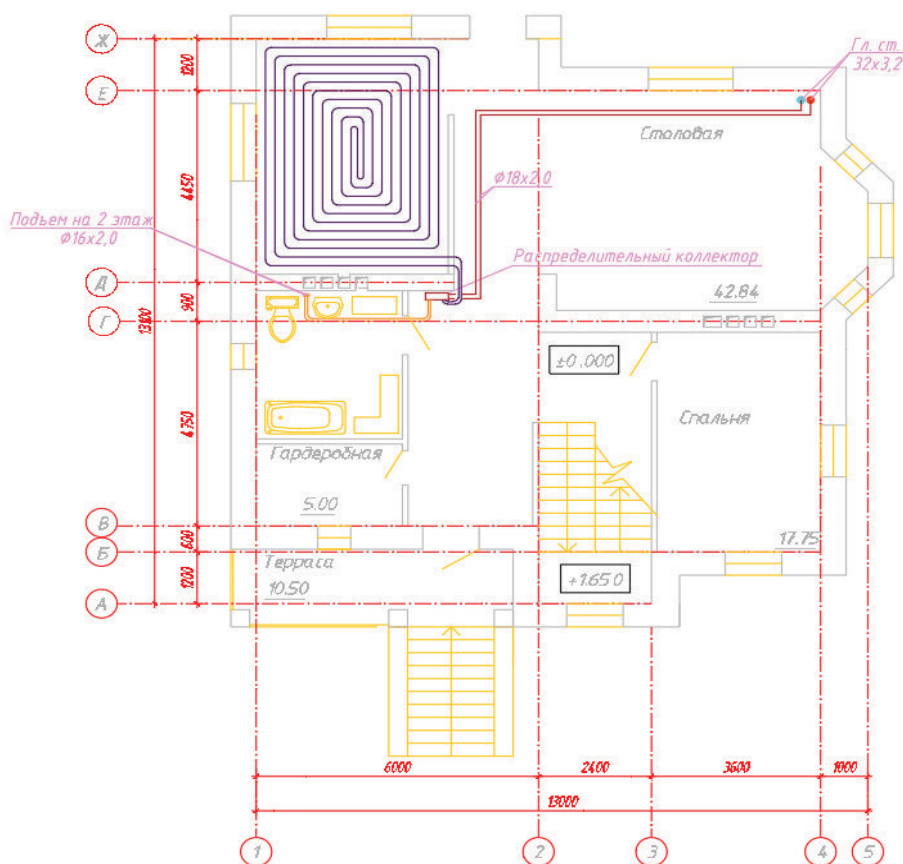


Рис. 4. План 1-го этажа на отм. +0,000

2. Теплотехнический расчет с применением вермикулитобетона. В качестве основного слоя используем бетон на гравии. Характеристики ограждающей конструкции приведены в табл. 2.

Вычисления проводятся для г. Воронеж [3]: расчетная температура наружного воздуха $t_{on} = -26$ °С, средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{om} = -2,5$ °С, продолжительность отопительного периода $z_{on} = 190$ сут.

Таблица 2

Характеристики слоев для пола с вермикулитобетоном

№ слоя	Наименование	Толщина слоя δ , мм	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)
1	Паркетная доска	20	700	0,23
2	Полиэтиленовая пленка	1,2	960	0,29
3	Вермикулитобетон	X	400	0,09
4	Железобетон	220	2500	1,69

Методика расчета выполнена по [4].

а) величина градусо-суток отопительного периода:

$$ГСОП = (t_g - t_{om}) \cdot z_{on}, \quad (1)$$

где t_g – расчетная температура внутреннего воздуха, °С; t_{om} – средняя температура за отопительный период, °С; z_{on} – продолжительность отопительного периода, сут/год.

$$ГСОП = (20 - (-2,5)) \cdot 190 = 4527,6 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

б) нормируемое сопротивление теплопередаче покрытия (пола):

$$R_o^{mp} = a \cdot ГСОП + b, \quad (2)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 3 для соответствующих групп зданий [5].

$$R_o^{mp} = 0,0005 \cdot 4527,6 + 2,2 = 4,46 \text{ } \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

в) определяем термическое сопротивление материальных слоев конструкции многослойного пола без теплоизоляционного слоя:

$$R_o = R_g + \sum_{i=1}^n R_{mi} + R_n, \quad (3)$$

где R_g – сопротивление конвективному теплообмену между воздухом помещения и внутренней поверхностью пола, м²·°С/Вт, определяемое по формуле:

$$R_g = \frac{1}{\alpha_g},$$

где α_g – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности пола, Вт/(м²·°С), определяем по [5, табл. 4]; R_{mi} – термическое сопротивление i – го материального слоя в конструкции многослойного пола, м²·°С/Вт, определяемое по формуле:

$$R_{mi} = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (4)$$

$$R_o = \frac{1}{8,7} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

где R_n – сопротивление конвективному теплообмену между наружной поверхностью пола и подвалом, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяемое как

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n}, \quad (5)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности пола, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, определяем по [5, табл. 8]

$$R_n = \frac{1}{17} = 0,059 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$R_o = 0,115 + \frac{0,02}{0,23} + \frac{0,0012}{0,29} + \frac{0,22}{1,69} + 0,059 = 0,395 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

г) определяем требуемое термическое сопротивление утеплителя в покрытии:

$$R_{ym}^{mp} = R_o^{mp} - R_o, \quad (6)$$

$$R_{ym}^{mp} = 4,46 - 0,395 = 4,065 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

д) определяем требуемую толщину теплоизоляционного слоя:

$$\delta_{ym}^{mp} = R_{ym}^{mp} \cdot \lambda_{ym}, \quad (7)$$

где λ_{mp} – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, табл.2, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$.

$$\delta_{ym}^{mp} = 4,065 \cdot 0,09 = 0,366 \text{ м}.$$

Округляем требуемую толщину теплоизоляционного слоя до строительной величины, кратной 5, так чтобы выполнялось следующее условие: $\delta_{ym} \geq \delta_{ym}^{mp}$, $\delta_{ym} = 0,4 \text{ м}$.

е) определяем фактическое термическое сопротивление теплоизоляционного слоя:

$$R_{ym}^{\phi} = \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}}, \quad (8)$$

$$R_{ym}^{\phi} = \frac{0,4}{0,09} = 4,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

ж) определяем фактическое сопротивление теплопередаче конструкции пола:

$$R_o^{\phi} = R_o + R_{ym}^{\phi}, \quad (9)$$

при этом должно выполняться следующее условие: $R_o^\phi \geq R_o^{mp}$.

$$R_o^\phi = 0,395 + 4,4 = 4,795 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

з) определяем толщину ограждения:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i, \quad (10)$$

$$\delta = 0,02 + 0,0012 + 0,4 + 0,22 = 0,64 \text{ м}.$$

3. Теплотехнический расчет с применением плит пеноплэкс.

Таблица 3

Характеристики слоев для пола с пеноплэксом

№ слоя	Наименование	Толщина слоя δ , мм	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)
1	2	3	4	5
1	Паркетная доска	20	700	0,23
2	Полиэтиленовая пленка	1,2	960	0,29
3	Пеноплэкс	X	35	0,031
4	Железобетон	220	2500	1,69

Аналогичным образом производится расчет в соответствии с пунктами а-з с применением плит пеноплэкс.

$$\delta_{ym}^{mp} = 4,065 \cdot 0,031 = 0,126 \text{ м}.$$

Округляем требуемую толщину теплоизоляционного слоя до строительной величины, кратной 5, так чтобы выполнялось следующее условие: $\delta_{ym} \geq \delta_{ym}^{mp}$, $\delta_{ym} = 0,15 \text{ м}$.

$$R_{ym}^\phi = \frac{0,15}{0,031} = 4,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$R_o^\phi = 0,395 + 4,8 = 5,195 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$\delta = 0,02 + 0,0012 + 0,15 + 0,22 = 0,39 \text{ м}.$$

Выводы. Проблемы энергосбережения рассматриваются в ряде работ [6-15]. Исследования очень разнообразны, но не рассмотрены возможности утепления полов. Одним из наиболее эффективных путей решения задачи является сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции и полы зданий, в частности. При устройстве теплоизоляции плиты

марки пеноплэкс можно класть сразу на бетонное основание. При применении вермикулито-бетона в качестве дополнительного материала необходимо использовать песок и цемент, что влечет за собой удорожание. Был произведен экономический расчет применения вермикулитобетона и пеноплэкса. С учетом всех затрат стоимость использования вермикулитобетона возрастает примерно в 2 раза. Поэтому более экономичным и технологичным решением является применение плит Пеноплэкс для утепления полов и устройства теплых полов. Технологичнее также применять утеплитель меньшей толщины, что возможно в случае использования пеноплэкса.

Библиографический список

1. **Савранский, А. А.** Достижение эффекта энергосбережения при возведении жилых домов / А. А. Савранский // Научный журнал «Энергосбережение». – 2015. – №4.
2. **Яременко, С. А.** Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений // С. А. Яременко, М. Н. Жерлыкшина // учебное пособие. – Воронеж: Воронежский ГАСУ. – 2013. – 160 с.
3. Свод правил СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». – Актуализированная версия СНиП 23-01-99*. – Минрегион России. – 2012. – 109 с.
4. **Старцева, Н. А.** Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений / Н. А. Старцева, С. А. Яременко // учеб.-метод. пособие; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж. – 2010. – 51 с.
5. Свод правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». – Актуализированная редакция. СНиП 23-02-2003 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 265) – ФАУ ФЦС. – 2012. – 95 с.
6. **Исанова, А. В.** Оптимизация работы теплонасосной пофасадной системы отопления при соблюдении требуемых параметров теплового комфорта жилых зданий / А. В. Исанова, Г. Н. Мартыненко // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 3 (51). – С. 40-47.
7. **Isanova, A. V.** Optimization of operation of a heat-pump facade system of heating during observance of the required parameters of thermal comfort of residential buildings / A.V. Isanova, G.N. Martynenko, A.A. Sedaev // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 4 (40). – С. 6-14.
8. **Маслова, Т. О.** Энергосбережение в жилищном фонде / Т. О. Маслова, И. С. Курасов, Г. Н. Мартыненко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 1 (10). – С. 20-31.
9. **Исанова, А. В.** Определение расхода условного топлива в системе последовательно связанных тепловых насосов при энергоэффективном режиме работ / А. В. Исанова, В. И. Лукьяненко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12. – № 3. – С. 36-40.
10. **Щукина, Т. В.** Исследование эффективности пассивного солнечного отопления для энергосберегающей эксплуатации зданий / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 2. – С. 51-55.
11. **Щукина, Т. В.** Исследование эффективности энергоактивных ограждений для пассивного солнечного отопления / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов // Промышленная энергетика. – 2007. – № 8. – С. 52-55.
12. **Щукина, Т. В.** Энергоактивные ограждения для пассивного солнечного отопления / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов, Л. В. Кузнецова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2007. – Т. 3. – № 6. – С. 116-120.
13. **Гладышева, Т. Ю.** Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева / Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 2 (23). – С. 14–21.
14. **Петрикеева, Н. А.** Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов систем теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н. О. Попов / Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 1. – С. 15.
15. **Попов, Н. О.** Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов систем теплоснабжения / Н. О. Попов, Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин / Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 1 (18). – С. 15–22.

Для цитирования: **Кремнева, А. А.** Оптимальное применение теплоизоляции для теплых полов с учетом минимизации теплопотерь в грунт на примере пеноплэкс / А. А. Кремнева, Л. С. Коровина, В. Г. Полуэктова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 35-42.

УДК 628.477

СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МУСОРА В СЫРЬЕ

Г. Н. Мартыненко, А. С. Комаров, М. С. Грибанов

*Воронежский государственный технический университет**Г. Н. Мартыненко, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(900)304-62-51, e-mail: glen2009@mail.ru**А. С. Комаров, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(930)410-89-73, e-mail: sasha1998.25@mail.ru**М. С. Грибанов, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(906)673-10-11, e-mail: gribmaks@list.ru*

Постановка задачи. Рассмотреть виды и способы переработки мусора, привести принципиальные схемы процессов переработки мусора и оборудования, описать различия в методах переработки, сделать сравнительный анализ.

Результаты. Были рассмотрены способы переработки мусора, так же приведены схемы оборудования, схемы процессов переработки мусора. Выявлены преимущества и недостатки различных методов переработки.

Выводы. Установлено, что технологии переработки мусора актуальны на сегодняшний день, наиболее перспективной из которых является плазменная газификация. Ее использование решает ряд экологических проблем.

Ключевые слова: переработка, утилизация, мусор, отходы, сырье, синтез-газ, плазменная газификация.

Введение. С 1 января 2019 года в России стартовала «Мусорная реформа», согласно которой изменили правила утилизации отходов. Эта реформа обсуждалась несколько лет. Проблема утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) стоит уже давно, необходимо убрать свалки и мусорные полигоны дальше от городов. Согласно новому законодательству, ответственными за вывоз мусора становятся регионы, они же должны выбрать регионального оператора и установить тарифы на услуги. До этого оплата за утилизацию мусора входила в сумму за содержание дома. Несмотря на удорожание платы за вывоз мусора, эта реформа служит благому делу. Наконец-то серьезно задумались над проблемой переработки мусора, использования вторсырья. Теперь в России запрещено просто сваливать мусор на полигон, для этого его нужно заранее рассортировать. В нашей стране пока недостаточно заводов для переработки мусора, но это и не удивительно, при предыдущей системе они просто не могли появиться. Нынешняя же система позволяет инвесторам вкладывать деньги в мусороперерабатывающие заводы и быть уверенными в том, что у них всегда будет сырье для работы. К 2022 году по всей стране планируется построить более 200 таких заводов и речь идет не только об утилизации сырья, но и о создании новых рабочих мест, новых профессиональных специальностей [1].

1. Методы утилизации отходов. В связи с тем, что старые методы утилизации ТБО, такие как сжигание и захоронение на свалках, ведут к экологической катастрофе, просто необходимо строить перерабатывающие заводы. Многие компоненты мусора, такие например как пластик и резина очень долго разлагаются, а при сжигании выделяют слишком много вредных веществ, отравляющих атмосферу, окружающую среду, наносящих вред здоровью человека. Однако они же имеют в своем составе углерод, являющийся основным источником энергии. В последние годы цена на ископаемые углеводороды непрерывно

растет. Очевидно, что имеет смысл не просто переработка и утилизация этих отходов, а превращение их в топливо [2]. На этом и основан принцип работы мусороперерабатывающих заводов, используя технологию газификации мусора можно производить из отходов генераторный газ, являющийся смесью CO и H₂. Это прекрасная альтернатива природному газу, особенно учитывая условия его получения. Но получение газа не единственный плюс переработки мусора, таким образом, в результате процесса получается так называемое «пиролизное масло». Оно может быть использовано для двигателей внутреннего сгорания, либо же, как сырье для продуктов органической химии.

Даже относительно небольшой и недорогой завод может производить такие типы ценного сырья, как: цветные и черные металлы, стекло, бумага, полимерные отходы, пригодные к переработке, топливо, тепло и электроэнергия, вещества, используемые в химической промышленности.

При этом все количество мусора постоянно растет, природные же запасы топлива и энергии постоянно уменьшаются, что приводит к логическому выводу, что мусор является наиболее перспективным альтернативным источником энергии в наши дни. Полученное из отходов топливо почти не отличается по качеству от природного, но дешевле в получении, а, следовательно, мусороперерабатывающая отрасль будет стремительно развиваться.

У всех заводов по переработке твердых бытовых отходов есть общий порядок действий при переработке ТБО в сырье. Рассмотрим эти этапы:

1) на первом этапе происходит сортировка мусора, так как не весь мусор может быть переработан в газ. Из него убирают все крупногабаритные предметы, извлекают цветные и черные металлы, стекло и пластик. Это не особо трудоемкий процесс, так как на подавляющем большинстве заводов сегодня внедрены сортировочные линии;

2) на втором этапе происходит переработка подготовленных твердых бытовых отходов в газификаторе для получения из них синтез-газа, пиролизного масла и побочных химических соединений. Это процесс, называемый пиролизом, рассмотрим подробнее. Пиролиз – разложение тяжелых органических веществ на более легкие при нагревании и в отсутствие кислорода. Его смысл заключается в том, что при нагревании соединения расщепляются на вещества, имеющие более низкую молекулярную массу, в результате чего образуются три продукта синтез-газ, пиролизное масло, пикарбон (твердый углеродсодержащий остаток – уголь). Из схемы (рис.1) можно увидеть, что пиролиз мусора происходит в 4 этапа: просушка мусора (в сушильной камере), сухая перегонка (пиролиз), получение сырья, горение твердых остатков. Так же из схемы видно, что нагревание происходит за счет тепла от горения;

3) третий этап – это очистка газа и иных продуктов пиролиза от соединений хлора, фтора и серы;

4) сжигание очищенного синтез-газа, для получения тепловой или электрической энергии;

5) реализация продуктов конечным потребителям.

В конечном счете остается минимальное количество перерабатываемого мусора, что имеет явные преимущества в сравнении с традиционными видами утилизации ТБО.

Более подробно переработку ТБО мы можем рассмотреть на примере завода пиролизной переработки мусора. Экологически чистое производство от 1 до 10 млн. куб. метров газа в год. Высокую производительность и наращивание мощности обеспечивает роторная линия и унитарный контейнер. Завод полностью автоматизирован и исключает ручной труд. Практически нет выброса вредных веществ в атмосферу. Производится утилизация отходов путем плавления в индукционных печах, питаются которые от электростанций, работающих на вырабатываемом газе. Выработанный газ, сжижают и фасуют в стандартные баллоны для продажи населению, так же получают сырьё (металл,

стекло, цветной металл, удобрение, соли CaCO_3 и MgCO_3 и другие) для использования в народном хозяйстве.

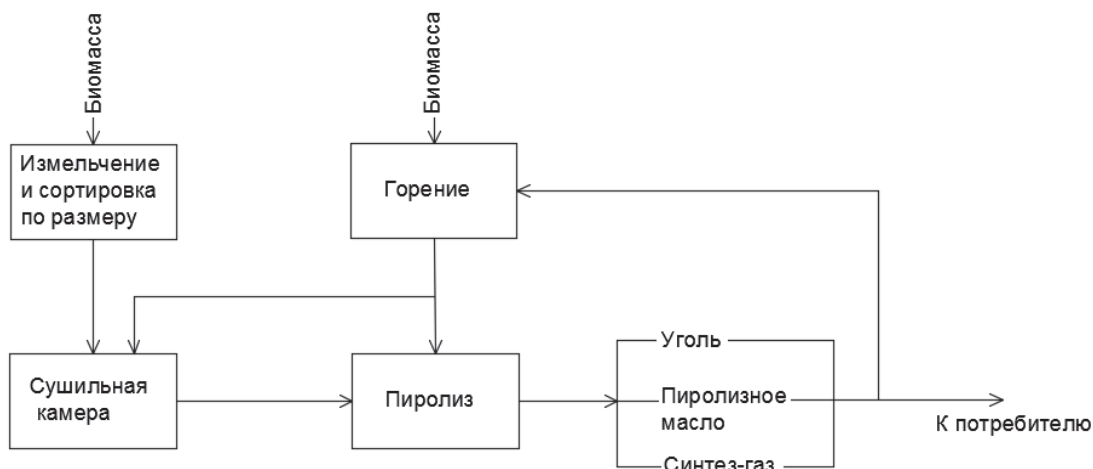


Рис. 1. Схема процессов при пиролизе

Для утилизации отходов используются две пиролизные установки (рис. 2), индукционные электрические печи, газотурбинные электрические станции, газгольдеры, установка для сжижения получаемого газа и унитарные контейнеры.

В унитарный контейнер загружают углеводородные отходы без их сортировки, подают его в реактор и закрывают его герметичной крышкой с несколькими стержнями, вихревыми горелками. Затем реактор закрывают крышкой, имеющей газоотводы и газопроводы (не показаны) для подачи горючих газов в полость стержней на вихревые горелки. Через газопроводы, краны и горелки подают и сжигают природный газ со стартового устройства.

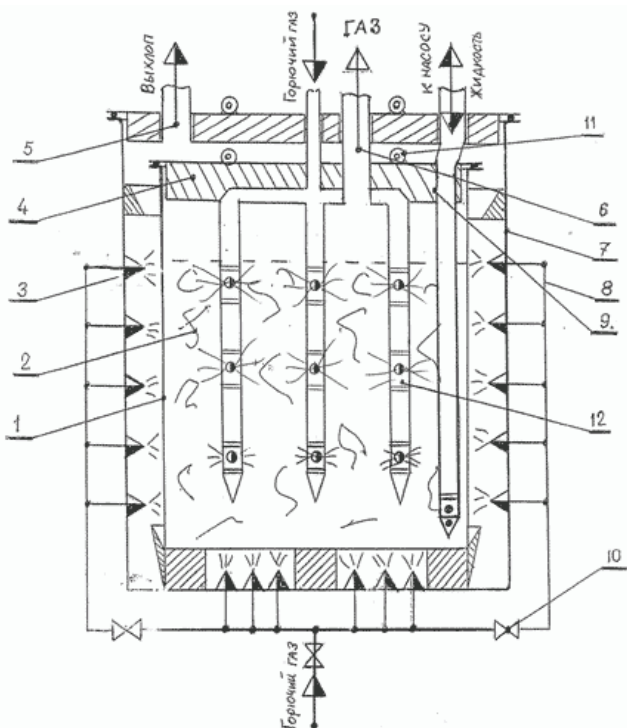


Рис. 2. Установка для пиролиза: 1 – унитарный контейнер; 2 – отходы; 3 – вихревые газовые горелки; 4 – крышка унитарного контейнера герметичная; 5 – газоотвод выхлопных газов; 6 – газоотвод горючих газов и пара; 7 – корпус термореактора; 8 – газопровод; 9 – крышка реактора герметичная; 10 – краны; 11 – серьги для аварийного подъема крышек; 12 – стержни с горелками

Так же существует альтернативный метод переработки мусора в топливо - биопереработка. Суть данного метода заключается в том, что метанопродуцирующие бактерии перерабатывают мусор в газ и удобрения. Для этого домашние, деревенские и бытовые отходы собирают от потребителя и привозят на переработку. Далее загружают в бродильные камеры (рис. 3), расположенные на стеллажах с решетчатым дном, слоем в 50-70 см.

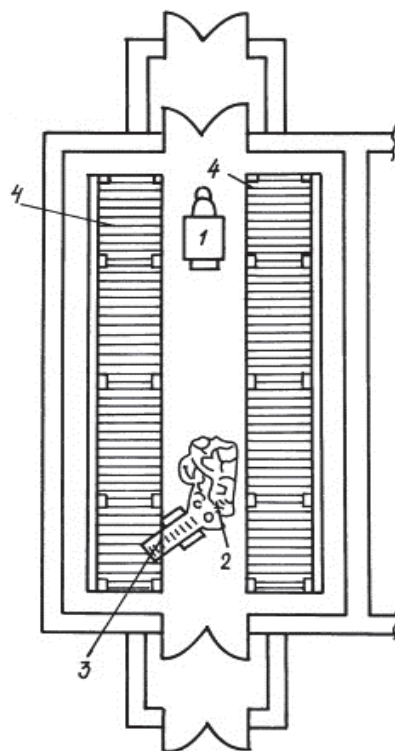


Рис. 3. Схема доставки и загрузки мусора: 1 – мусоровоз; 2 – мусорная куча; 3 – погрузчик; 4 – стеллажи

Рассмотрим схему работы биоперерабатывающего предприятия (рис. 4).

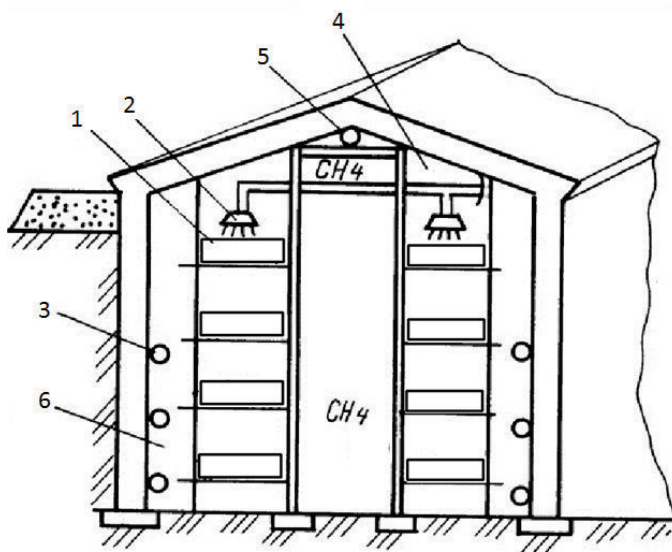


Рис. 4. Схема биоперерабатывающего предприятия: 1 – стеллажи; 2 – автоматика для орошения; 3 – система подогрева; 4 – биогаз метан; 5 – отводная труба для метана; 6 – проходы для персонала

Таким образом процесс брожения происходит при влажности в пределах 92-95 %, для достижения этого мусорная масса каждые 1,5-2 часа должна увлажняться, так же необходимо включить подогрев камеры до 55 °С. После этого температура будет повышаться сама приблизительно до 60 °С, что свидетельствует о том, что микроорганизмы начали свою работу, затем система искусственного подогрева выключается. Спустя 8-10 дней процесс заканчивается, метан отсасывается в газгольдеры и начинается сортировка, при этом 10 % мусора оставляют для «затравки» следующей партии. Пластмассовые включения извлекаются для дальнейшей переработки, а остальная мусорная масса используется в качестве удобрения. Оставшаяся метаногенная ассоциация микроорганизмов начнет переходить на свежие биоотходы и более эффективно перерабатывать их, интенсивно размножаясь [4].

Главный минус данного способа переработки - невысокая скорость, в связи с чем, нет возможности обработать больше количество мусора, поступающего от городов.

Одна из новейших и наиболее технологически продвинутых способов на сегодняшний день это плазменная газификация.

2. Плазменная газификация. Плазменная газификация – это одна из передовых технологий обращения с несортированными отходами. Эта технология уничтожает различный мусор с минимальным вредом для планеты и получает большое количество энергии из возобновляемого источника.

Для переработки токсичных промышленных отходов и твердого бытового мусора не было подходящего безопасного метода, но был найден выход - термолиз. Термолиз ранее применялся для газификации сланца, гудрона, дерева и кокса. Технология нашла применение в переработке опасных отходов.

Общий принцип плазменной обработки отходов заключается в термическом разложении с неполным окислением под воздействием водяного пара, кислорода воздуха и давления. Для того чтобы сырьё не сгорало, необходимо контролировать поступление окислителя – воздуха. При температурах более 1000 °С начинается пиролиз.

На выходе из установки получается синтез-газ, который служит сырьем для получения спиртов, удобрений, горючего, моторного масла. Также синтез-газ используется в качестве топлива для электростанций.

Устройство делится на основные части:

- реактор-газификатор;
- генератор плазмы;
- дожигатель;
- система очистки.

Переработка плазменным методом начинается с загрузки измельченного и высушенного мусора в шахту. Водяной пар и воздух подаются через ярусные дюзы, далее смесь обрабатывается потоком плазмы.

Для изоляции камеры дно устройства погружено в ёмкость с водой. Смешивание веществ из реактора с атмосферой исключает гидрозатвор. Снизу чугунным колосником улавливаются несгораемые элементы и шлак которые перемещаются на дно резервуара с водой. После этого зольный остаток остывает и удаляется. Шлак, который образуется, составляет менее 7 % от начальной массы и состоит из оксидов, карбонатов металлов и кремния. Шлак используется как строительный материал.

Для непрерывной работы установки, струю плазмы поддерживают, впрыскивая воздушно – паровую смесь. Получаемый синтез-газ откачивают, далее сушат и фильтруют. Для работы устройства затрачивается большое количество электроэнергии, но вырабатываемый газ в четыре раза компенсирует энергетические затраты.

Созданием лидирующей технологической базы для превращения отходов цивилизации в чистую энергию без вреда для Земли занимается Westinghouse Plasma Corporation. Пока

технология плазменного пиролиза применяется в мире на трех промышленных объектах. Установки позволяют превращать в горючий газ бытовой мусор горожан, ядовитые отходы заводов, осадок водостоков. Один из заводов Air Products, расположенный в Англии, ежемесячно избавляет планету от 30 килотонн мусора в виде: ТБО, промышленных отбросов, отходов рознично-оптовой торговли, медицинского биомусора, отходов переработки нефти, ядовитого шлака из мусора, сжигаемого на свалках.

На выходе завод получает очищенный синтетический газ, который трансформируется в энергетические решения для электростанций, топливных элементов и химических продуктов: этиловый спирт; метанол; пропанол; дизельное топливо; горючее для ракетных двигателей. Суть технологического решения компании-реакторы, оснащенные плазменными горелками. Через электрический дуговой разряд высокого напряжения пропускают воздух под давлением. Газы ионизируются и нагреваются, как от удара молнии, и направляются в камеру при температуре 5000 °С. Получаемый синтез-газ очищается от твердых частиц, тяжелых металлов и серы. Расплавленный шлак собирают для использования как композитный материал в строительстве. Плазменная утилизация отходов на заводах корпорации Westinghouse позволяет полностью разлагать мусор на безопасные и ценные соединения (рис.5) [5].

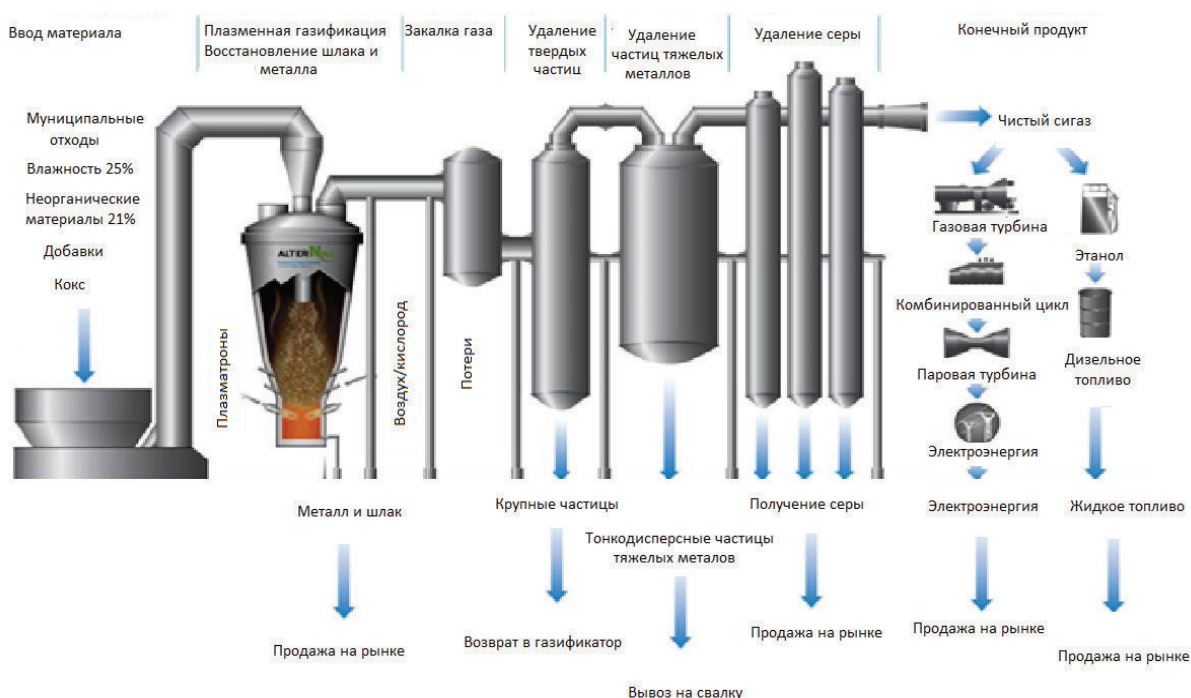


Рис. 5. Технология Westinghouse Plasma Corporation

На сегодняшний день все три перечисленных способа переработки мусора активно используются и развиваются [6-8]. Вопрос является то, который из способов лучше и выгоднее. Все три метода имеют свои плюсы и минусы, рассмотрим их.

Наиболее распространенным является пиролиз. Относительная дешевизна оборудования, высокая производительность, выработка полезных ресурсов делают этот метод привлекательным для инвесторов. Возможность переработки большого количества мусора прекрасно подходит для переработки отходов жизнедеятельности от достаточно крупных городов и населенных пунктов. Так же большое преимущество в том, что нет зависимости от вида отходов, в переработку отправляется любой мусор.

Биопереработка отходов, к сожалению, имеет невысокую скорость процесса, и не подходит для крупных городов. Однако она может быть крайне полезна в развитых сельскохозяйственных регионах, где есть большое количество биологических отходов, и имеется высокая потребность в удобрениях. Биопереработка выгодна в ряде сельских районов, но с развитием технологий может иметь распространение в городской зоне.

Преимущество плазменной газификации состоит в том, что она позволяет более эффективно перерабатывать ТБО, с меньшим ущербом для окружающей среды. Получаемый конвертерный газ подвергается многостадийной очистке перед его использованием. Также при переработке мусора плазменной газификации мы получаем не только газ, но и полезные ресурсы, такие как металлы и шлак, серу, и т.д.

Выводы. Так как запасы природного газа, нефти и угля не бесконечны, а количество мусора непрерывно растет, использование технологий по переработке мусора имеет огромную перспективу. В результате изучения различных методов переработки, были выявлены их преимущества и недостатки. Наиболее актуальной на сегодняшний день является плазменная газификация. Она позволяет перерабатывать любые отходы включая радиоактивные, химически опасные и биологически опасные вещества. Данная особенность позволяет уменьшить вредное воздействие человека на окружающую среду.

Плазменная газификация - это наиболее современный и технологически развитый метод. Установки и оборудование постоянно совершенствуются и развиваются. В связи с этим, потребность в изучении этого вопроса велика, но возникает вопрос стоимости и оптимальности применения такого рода оборудования. Такие вопросы будут рассмотрены в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. **Коробко, В. И.** Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство: монография: науч. специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» / В. И. Коробко, В. А. Бычкова. – Москва: ЮНИТИ: ЮНИТИ-ДАНА, – 2012. – 131 с.
2. **Клинков, А. С.** Утилизация и переработка твердых бытовых отходов / А. С. Клинков, П. С. Беляев // Тамбов. Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – 2015. – 188 с.
3. Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления. Международная науч.-технич. конф. (Минск, 23-24 ноября 2011): материалы конференции / [редкол.: Жарский И. М. (гл. ред.) и др.]. – Минск: БГТУ. – 2011. – 533с.
4. **Мартыненко, Г. Н.** Возможности использования экологически опасных отходов жизнедеятельности в биогазовых установках / Г.Н. Мартыненко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 4-2 (17). – С. 119-122.
5. **Прокопенко, А. А.** Физические и био-химические процессы при переработке мусора / А. А. Прокопенко, А. В. Козлов, Г. Н. Мартыненко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 2 (3). – С. 34-39.
6. **Михеев, В. В.** Своевременность биогазовых установок в России / В. В. Михеев, С. С. Дудкин, В. И. Лукьяненко // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения. Труды 20-й научно-технической конференции. – 2018. – С. 149-155.
7. **Тульская, С. Г.** Ресурсосберегающие технологии биогазовых установок при переработке отходов сельского хозяйства / С.Г. Тульская, К. Г. Мозговая // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – №1 (2). – С.21-27.
8. **Мелькумов, В. Н.** Экологическая безопасность и технико-экономическая эффективность предприятий по сжиганию твердых бытовых отходов городов / В. Н. Мелькумов, О. А. Сотникова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4. – С.167-181.

Для цитирования: **Мартыненко, Г. Н.** Способы и технологии переработки мусора в сырье / Г. Н. Мартыненко, А. С. Комаров, М. С. Грибанов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 43-49.

УДК 697.33:697.34

ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАССЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ РАВНОМЕРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

А. А. Чуйкина, Е. В. Плаксина, А. Р. Бохан, К. А. Григорьева

Воронежский государственный технический университет

А. А. Чуйкина, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru

Е. В. Плаксина, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru

А. Р. Бохан, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела,

Россия, г Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru

К. А. Григорьева, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru

Постановка задачи. Планирование оптимальной трассы системы теплоснабжения является сложной конструктивной задачей, требующей значительного объема исходных данных. На начальном этапе планирование допускается применять укрупненные характеристики, которые могут быть использованы в качестве параметров оптимальности.

Результаты и выводы. В работе, на базе численного исследования укрупненных параметров материальной характеристики, момента тепловой нагрузки и тепловых потерь произведен выбор наиболее целесообразных вариантов трассировки тепловой сети. Отмечается, что при выборе одного из указанных критериев, выбор оптимального варианта может оказаться ошибочным. Избежать наличия подобных ошибок можно путем поиска оптимального решения на основании нескольких критериев.

Ключевые слова: теплоснабжение, конструирование трубопроводов, материальная характеристика тепловых сетей, момент тепловой нагрузки.

Введение. Выбор оптимальной трассы тепловой сети может проводиться на различных стадиях проектирования и с помощью различных методов, пример которых представлен в работах таких ученых, как В.Ф. Ловягин, В.Я. Хасилев, Л.С. Хрилев, А.А. Ионин, Е.В. Сеннова, Е.Я. Соколов [1-6]. Так, например, при проведении полного гидравлического расчета затрачивается значительное количество времени, что приводит к увеличению сроков проектирования. Таким образом, перед более подробным этапом проектирования следует выбрать наиболее выгодные варианты трассировки. Этого можно добиться при использовании укрупненных показателей, не требующих точных расчетов и большого объема начальной информации. Рассмотрим основные укрупненные показатели, существующие на данный момент, и выберем с их помощью на примере наиболее оптимальный вариант трассировки системы централизованного теплоснабжения.

1. Укрупненные зависимости параметров систем теплоснабжения. Как отмечалось ранее в работах [7-12] наиболее распространенным укрупненным показателем, служащим для оценки трассировки сети теплоснабжения является материальная характеристика, которую при отсутствии данных гидравлического расчета можно определять по зависимости

$$M = E \cdot G^{0,38} \cdot l, \quad (1)$$

где G – расход теплоносителя в магистрали; E – поправочный коэффициент; l – длина участка тепловой сети.

Еще одним показателем, характеризующим данный объект исследования, является фактический момент тепловых нагрузок [12], определяемый по формуле

$$Z_T = \sum Z_i = \sum (Q_{pi} \cdot l_i), \tag{2}$$

где Q_{pi} – расчетная тепловая нагрузка.

В работе [12] отмечается если допустить, что выполнен выбор трассы тепловой сети и ее конфигурации, то можно также конкретизировать расчет оборота тепла, приняв в качестве длин, соединяющих источник теплоснабжения с конкретным потребителем, расстояние по трассе. Так как это расстояние всегда больше, чем вектор, то оборот тепла по конкретной трассе Z_c всегда больше теоретического оборота тепла Z_T . Безразмерное отношение этих двух значений оборотов тепла называется коэффициентом конфигурации тепловых сетей χ :

$$\chi = Z_c / Z_T = \sum (Q^p \cdot l_{ic}) / \sum (Q^p \cdot l_{iT}). \tag{3}$$

Помимо упомянутых параметров, важным является так же величина тепловых потерь централизованной системы теплоснабжения, которая во многом зависит от величины материальной характеристики сети. Определим указанные выше показатели для трассировок тепловой сети, приведенных на рисунке 1.

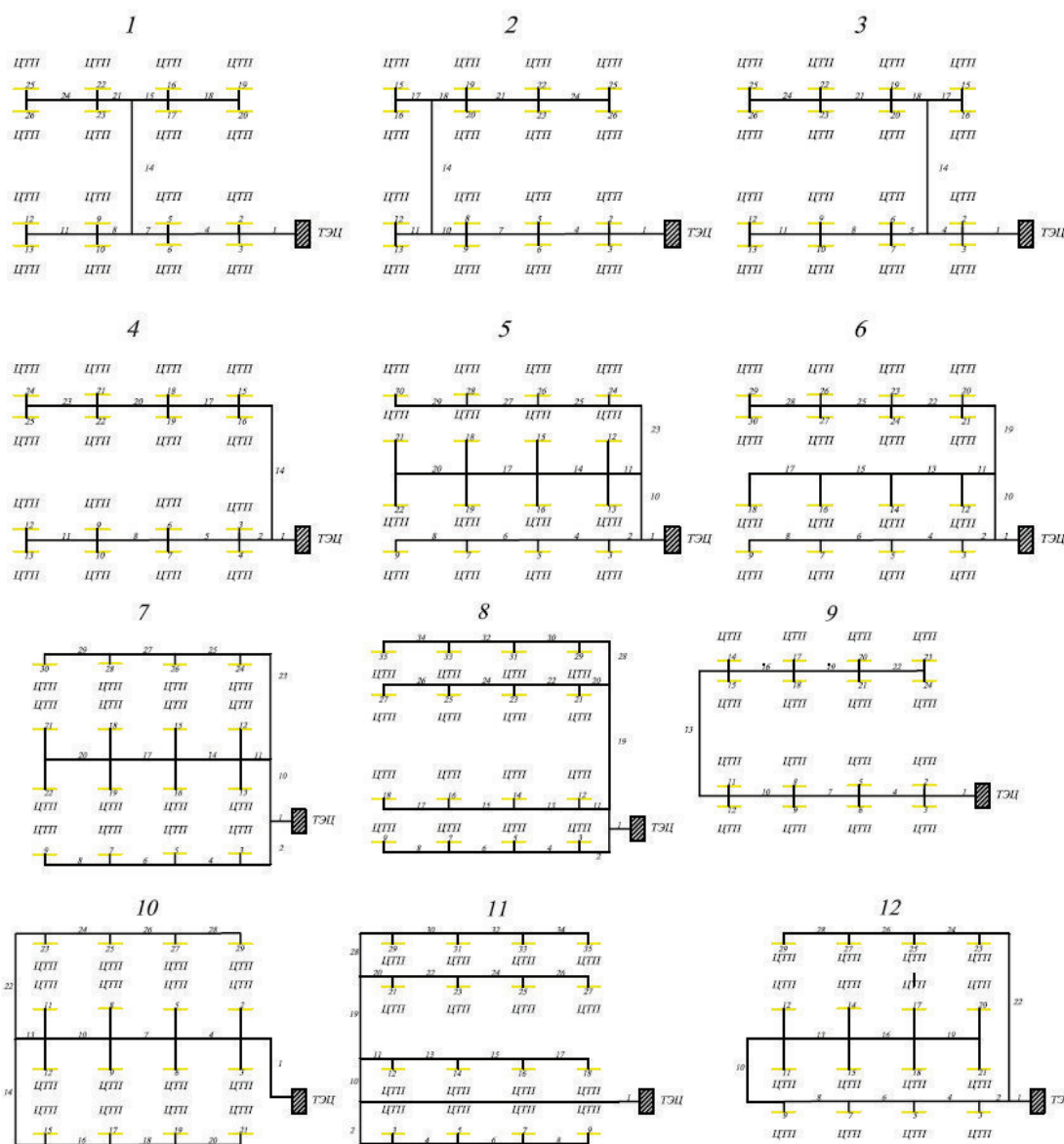


Рис. 1. Рассматриваемые варианты трассировки тепловой сети микрорайона строительства

2. Определение оптимальной трассы системы теплоснабжения. В таблице 1 приведены результаты расчета материальной характеристики тепловых сетей, полученные с помощью применения зависимости (1).

Таблица 1

Результаты расчета материальных характеристик

Схема	№ уч.	L, м	G _{уч}	M	ΣM	Схема	№ уч.	L, м	G _{уч}	M	ΣM	Схема	№ уч.	L, м	G _{уч}	M	ΣM
1	1	134	291,2	58,06	498	7	1	56,2	291,2	24,3	701	6	1	56	291,2	24,28	625
	2	23	18,2	3,93			2	191,2	72,8	48,8			2	78	72,8	19,94	
	3	23	18,2	3,93			3	23,10	18,2	3,9			3	26	18,2	3,93	
	4	171	254,8	70,19			4	171,0	54,6	39,1			4	171	54,6	39,09	
	5	23	18,2	3,93			5	23,1	18,2	3,9			5	26	18,2	3,93	
	6	23	18,2	3,93			6	171,0	36,4	33,5			6	171	36,4	33,51	
	7	85	218,4	33,10			7	23,1	18,2	3,9			7	26	18,2	3,93	
	8	85	72,8	21,80			8	171,0	18,2	25,8			8	171	18,2	25,75	
	9	23	18,2	3,93			9	23,1	18,2	3,9			9	26	18,2	3,93	
	10	23	18,2	3,93			10	161,6	218,4	62,6			10	161	218,4	62,56	
	11	171	36,4	33,51			11	78,2	145,6	25,9			11	78	72,8	19,94	
	12	23	18,2	3,93			12	77,6	18,2	11,7			12	77	18,2	11,69	
	13	23	18,2	3,93			13	77,6	18,2	11,7			13	171	54,6	39,09	
	14	324	145,6	107,69			14	171,0	109,2	50,9			14	77	18,2	11,69	
	15	85	72,8	21,80			15	77,6	18,2	11,7			15	171	36,4	33,51	
	16	23	18,2	3,93			16	77,6	18,2	11,7			16	77	18,2	11,69	
	17	23	18,2	3,93			17	171,0	72,8	43,6			17	171	18,2	25,75	
	18	171	36,4	33,51			18	77,6	18,2	11,7			18	77	18,2	11,69	
	19	23	18,2	3,93			19	77,6	18,2	11,7			19	241	145,6	80,01	
	20	23	18,2	3,93			20	171,0	36,4	33,5			20	26	18,2	3,93	
	21	85	72,8	21,80			21	77,6	18,2	11,7			21	26	18,2	3,93	
	22	23	18,2	3,93			22	77,6	18,2	11,7			22	171	109,2	50,87	
	23	23	18,2	3,93			23	352,7	72,8	85,9			23	26	18,2	3,93	
	24	171	36,4	33,51			24	23,1	18,2	3,9			24	26	18,2	3,93	
	25	23	18,2	3,93			25	171,0	54,6	39,1			25	171	72,8	43,60	
	26	23	18,2	3,93			26	23,1	18,2	3,9			26	26	18,2	3,93	
	-	-	-	-			27	171,0	36,4	33,5			27	26	18,2	3,93	
	-	-	-	-			28	23,1	18,2	3,9			28	171	36,4	33,51	
	-	-	-	-			29	171,0	18,2	25,8			29	26	18,2	3,93	
	-	-	-	-			30	23,1	18,2	3,9			30	26	18,2	3,93	
2	1	134	291,2	58,06	532	8	1	56,2	291,2	24,3	732	12	1	56,2	291,2	24,3	808
	2	23	18,2	3,93			2	144,7	72,8	36,9			2	78,2	218,4	30,3	
	3	23	18,2	3,93			3	23,1	18,2	3,9			3	26,1	18,2	3,9	
	4	171	254,8	70,19			4	171,0	54,6	39,1			4	171,0	200,2	64,1	
	5	23	18,2	3,93			5	23,1	18,2	3,9			5	26,1	18,2	3,9	
	6	23	18,2	3,93			6	171,0	36,4	33,5			6	171,0	182,0	61,8	
	7	171	218,4	66,20			7	23,1	18,2	3,9			7	26,1	18,2	3,9	
	8	23	18,2	3,93			8	171,0	18,2	25,8			8	171,0	163,8	59,3	
	9	23	18,2	3,93			9	23,1	18,2	3,9			9	26,1	18,2	3,9	
	10	85	182,0	30,88			10	45,8	218,4	17,7			10	356,9	145,6	86,2	
	11	85	36,4	16,75			11	79,2	72,8	20,2			11	77,6	18,2	11,7	
	12	23	18,2	3,93			12	23,1	18,2	3,9			12	77,6	18,2	11,7	
	13	23	18,2	3,93			13	171,0	54,6	39,1			13	171,0	109,2	50,9	
	14	324	145,6	107,69			14	23,1	18,2	3,9			14	77,6	18,2	11,7	
	15	23	18,2	3,93			15	171,0	36,4	33,5			15	77,6	18,2	11,7	
	16	23	18,2	3,93			16	23,1	18,2	3,9			16	171,0	72,8	43,6	
	17	85	36,4	16,75			17	171,0	18,2	25,8			17	77,6	18,2	11,7	
	18	85	109,2	25,43			18	23,1	18,2	3,9			18	77,6	18,2	11,7	
	19	23	18,2	3,93			19	324,5	145,6	107,7			19	171,0	36,4	33,5	
	20	23	18,2	3,93			20	79,2	72,8	20,2			20	77,6	18,2	11,7	

	21	171	72,8	43,60			21	23,1	18,2	3,9			21	77,6	18,2	11,7	
	22	23	18,2	3,93			22	171,0	54,6	39,1			22	514,3	72,8	131,2	
	23	23	18,2	3,93			23	23,1	18,2	3,9			23	26,1	18,2	3,9	
	24	171	36,4	33,51			24	171,0	36,4	33,5			24	171,0	54,6	39,1	
	25	23	18,2	3,93			25	23,1	18,2	3,9			25	26,1	18,2	3,9	
	26	23	18,2	3,93			26	171,0	18,2	25,8			26	171,0	36,4	33,5	
	-	-	-	-			27	23,1	18,2	3,9			27	26,1	18,2	3,9	
	-	-	-	-			28	190,5	72,8	48,6			28	171,0	18,2	25,8	
	-	-	-	-			29	23,1	18,2	3,9			29	26,1	18,2	3,9	
	-	-	-	-			30	171,0	54,6	39,1			-	-	-	-	
	-	-	-	-			31	23,1	18,2	3,9			-	-	-	-	
	-	-	-	-			32	171,0	36,4	33,5			-	-	-	-	
	-	-	-	-			33	23,1	18,2	3,9			-	-	-	-	
	-	-	-	-			34	171,0	18,2	25,8			-	-	-	-	
	-	-	-	-			35	23,1	18,2	3,9			-	-	-	-	
3	1	134	291,2	58,06	486	9	1	134,4	291,2	58,1	606	5	1	56	291,2	24,28	644
	2	26	18,2	3,93			2	23,1	18,2	3,9			2	78	72,8	19,94	
	3	26	18,2	3,93			3	23,1	18,2	3,9			3	26	18,2	3,93	
	4	85	254,8	35,09			4	171,0	254,8	70,2			4	171	54,6	39,09	
	5	85	109,2	25,43			5	23,1	18,2	3,9			5	26	18,2	3,93	
	6	26	18,2	3,93			6	23,1	18,2	3,9			6	171	36,4	33,51	
	7	26	18,2	3,93			7	171,0	218,4	66,2			7	26	18,2	3,93	
	8	171	72,8	43,60			8	23,1	18,2	3,9			8	171	18,2	25,75	
	9	26	18,2	3,93			9	23,1	18,2	3,9			9	26	18,2	3,93	
	10	26	18,2	3,93			10	171,0	182,0	61,7			10	161	218,4	62,56	
	11	171	36,4	33,51			11	23,1	18,2	3,9			11	78	145,6	25,95	
	12	26	18,2	3,93			12	23,1	18,2	3,9			12	77	18,2	11,69	
	13	26	18,2	3,93			13	479,9	145,6	159,3			13	77	18,2	11,69	
	14	324	145,6	107,69			14	23,1	18,2	3,9			14	171	109,2	50,87	
	15	26	18,2	3,93			15	23,1	18,2	3,9			15	77	18,2	11,69	
	16	26	18,2	3,93			16	171,0	109,2	50,9			16	77	18,2	11,69	
	17	85	36,4	16,75			17	23,1	18,2	3,9			17	171	72,8	43,60	
	18	85	109,2	25,43			18	23,1	18,2	3,9			18	77	18,2	11,69	
	19	26	18,2	3,93			19	171,0	72,8	43,6			19	77	18,2	11,69	
	20	26	18,2	3,93			20	23,1	18,2	3,9			20	171	36,4	33,51	
	21	171	72,8	43,60			21	23,1	18,2	3,9			21	77	18,2	11,69	
	22	26	18,2	3,93			22	171,0	36,4	33,5			22	77	18,2	11,69	
	23	26	18,2	3,93			23	23,1	18,2	3,9			23	241	72,8	61,48	
	24	171	36,4	33,51			24	23,1	18,2	3,9			24	26	18,2	3,93	
	25	26	18,2	3,93			-	-	-	-			25	171	54,6	39,09	
	26	26	18,2	3,93			-	-	-	-			26	26	18,2	3,93	
11	1	733,9	291,2	316,9	1031	10	1	291,2	284,48	122,9	848	4	1	56	291,2	24,28	395
	2	196,9	72,8	50,2			2	77,6	18,2	11,7			2	78	145,6	25,95	
	3	26,1	18,2	3,9			3	77,6	18,2	11,7			3	26	18,2	3,93	
	4	171,0	54,6	39,1			4	171,0	254,8	70,2			4	26	18,2	3,93	
	5	26,1	18,2	3,9			5	77,6	18,2	11,7			5	171	109,2	80,87	
	6	171,0	36,4	33,5			6	77,6	18,2	11,7			6	26	18,2	3,93	
	7	26,1	18,2	3,9			7	171,0	218,4	66,2			7	26	18,2	3,93	
	8	171,0	18,2	25,8			8	77,6	18,2	11,7			8	171	109,2	80,87	
	9	26,1	18,2	3,9			9	77,6	18,2	11,7			9	26	18,2	3,93	
	10	112,04	218,4	43,4			10	171,0	182,0	61,8			10	26	18,2	3,93	
	11	85,5	72,8	21,8			11	77,6	18,2	11,7			11	77	18,2	11,69	
	12	26,1	18,2	3,9			12	77,6	18,2	11,7			12	26	18,2	3,93	
	13	171,0	54,6	39,1			13	78,3	145,6	25,9			13	171	72,8	43,60	
	14	26,1	18,2	3,9			14	352,1	72,8	89,8			14	26	18,2	3,93	
	15	171,0	36,4	33,5			15	26,1	18,2	3,9			15	171	36,4	33,51	
	16	26,1	18,2	3,9			16	171,0	54,6	39,1			16	26	18,2	3,93	
	17	171,0	18,2	25,8			17	26,1	18,2	3,9			17	26	18,2	3,93	
	18	26,103	18,2	3,9			18	171,0	36,4	33,5			18	402	145,6	25,95	
	19	212,5	145,6	70,5			19	26,1	18,2	3,9			19	26	18,2	3,93	
	20	85,5	72,8	21,8			20	171,0	18,2	25,8			20	26	18,2	3,93	

21	26,1	18,2	3,9	21	26,1	18,2	3,9	17	171	109,2	50,87
22	171,0	54,6	39,1	22	352,1	72,8	89,8	18	26	18,2	3,93
23	26,1	18,2	3,9	23	26,1	18,2	3,9	19	26	18,2	3,93
24	171,0	36,4	33,5	24	171,0	54,6	39,1	20	171	72,8	43,60
25	26,1	18,2	3,9	25	26,1	18,2	3,9	21	26	18,2	3,93
26	171,0	18,2	25,8	26	171,0	36,4	33,5	22	26	18,2	3,93
27	26,1	18,2	3,9	27	26,1	18,2	3,9	23	171	36,4	33,51
28	196,9	72,8	50,2	28	171,0	18,2	25,7	24	26	18,2	3,93
29	26,1	18,2	3,9	29	26,1	18,2	3,9	25	26	18,2	3,93
30	171,0	54,6	39,1	-	-	-	-	-	-	-	-
31	26,1	18,2	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-
32	171,0	36,4	33,5	-	-	-	-	-	-	-	-
33	26,1	18,2	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-
34	171,0	18,2	25,8	-	-	-	-	-	-	-	-
35	26,1	18,2	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-

В таблице 2 приведены результаты расчета фактических моментов тепловой нагрузки, полученные с помощью применения зависимости (2).

Таблица 2

Результаты расчета фактического момента тепловой нагрузки

Схема	№ уч	$l_i, м$	$Q_i, МВт$	Z	ΣZ	Схема	№ уч	$l_i, м$	$Q_i, МВт$	Z	ΣZ	Схема	№ уч	$l_i, м$	$Q_i, МВт$	Z	ΣZ
1	1	134	29,12	3914	23226	7	1	56	23,12	1637	18168	6	1	56	29,12	1637	17919
	2	26	1,82	47,507			2	191	7,28	1392			2	78	7,28	569,44	
	3	26	1,82	47,507			3	26	1,82	47			3	26	1,82	47,507	
	4	171	25,48	4357			4	171	5,46	933			4	171	5,46	933,66	
	5	26	1,82	47,507			5	26	1,82	47			5	26	1,82	47,507	
	6	26	1,82	47,507			6	171	3,64	622			6	171	3,64	622,44	
	7	85	21,84	1867			7	26	1,82	47			7	26	1,82	47,507	
	8	85	7,28	622,44			8	171	1,82	311			8	171	1,82	311,22	
	9	26	1,82	47,507			9	26	1,82	47			9	26	1,82	47,507	
	10	26	1,82	47,507			10	161	21,84	3529			10	161	21,84	3529	
	11	171	3,64	622,44			11	78	14,56	1138			11	78	7,28	569,44	
	12	26	1,82	47,507			12	77	1,82	141			12	77	1,82	141,305	
	13	26	1,82	47,507			13	77	1,82	141			13	171	5,46	933,66	
	14	324	14,56	4724,6			14	171	10,92	1867			14	77	1,82	141,305	
	15	85	7,28	622,44			15	77	1,82	141			15	171	3,64	622,44	
	16	26	1,82	47,507			16	77	1,82	141			16	77	1,82	141,305	
	17	26	1,82	47,507			17	171	7,28	1244			17	171	3,64	622,44	
	18	171	3,64	622,44			18	77	1,82	141			18	77	1,82	141,305	
	19	26	1,82	47,507			19	77	1,82	141			19	241	14,56	3510	
	20	26	1,82	47,507			20	171	3,64	622			20	26	1,82	47,507	
	21	85	7,28	622,44			21	77	1,82	141			21	26	1,82	47,507	
	22	26	1,82	47,507			22	77	1,82	141			22	171	10,92	1867	
	23	26	1,82	47,507			23	352	7,28	2567			23	26	1,82	47,507	
	24	171	3,64	622,44			24	26	1,82	47			24	26	1,82	47,507	
	25	26	1,82	47,507			25	171	5,46	933			25	171	7,28	1244	
	26	26	1,82	47,507			26	26	1,82	47			26	26	1,82	47,507	
-	-	-	-	-	-	-	-	27	171	3,64	622						
-	-	-	-	-	-	-	-	28	26	1,82	47						
-	-	-	-	-	-	-	-	29	171	1,82	311						
-	-	-	-	-	-	-	-	30	26	1,82	47						

2	1	134	29,12	3914	22423	8	1	56	29,12	1637	12382	12	1	56,22	29,12	1637	35414
	2	26	1,82	47,507			2	147	7,28	1053			2	78,22	21,84	1708	
	3	26	1,82	47,507			3	26	1,82	47			3	26,103	1,82	47,507	
	4	171	25,48	4357			4	171	5,46	933			4	171	20,02	3423	
	5	26	1,82	47,507			5	26,103	1,82	47			5	26,103	1,82	47,507	
	6	26	1,82	47,507			6	171	3,64	622			6	171	18,2	3112,2	
	7	171	21,84	3734			7	26,103	1,82	47			7	26,103	1,82	47,507	
	8	26	1,82	47,507			8	171	1,82	311			8	171	16,38	2800	
	9	26	1,82	47,507			9	26,103	1,82	47			9	26,103	1,82	47,507	
	10	85	18,2	1556			10	45,82	21,84	1000			10	356,83	14,56	5195	
	11	85	3,64	311,22			11	79,19	7,28	576			11	77,64	1,82	141	
	12	26	1,82	47,507			12	26,103	1,82	47			12	77,64	1,82	141	
	13	26	1,82	47,507			13	171	5,46	933			13	171	10,92	1867	
	14	324	14,56	4724			14	26,103	1,82	47			14	77,64	1,82	141	
	15	26	1,82	47,507			15	171	3,64	622			15	77,64	1,82	141	
	16	26	1,82	47,507			16	26,103	1,82	47			16	171	7,28	1244	
	17	85	3,64	311,22			17	171	1,82	311			17	77,64	1,82	141,305	
	18	85	10,92	933			18	26,103	1,82	47			18	77,64	1,82	141,305	
	19	26	1,82	47,507			19	324,5	14,56	1724			19	171	3,64	622,44	
	20	26	1,82	47,507			20	79,19	7,28	576			20	77,64	1,82	141	
	21	171	7,28	1244			21	26,103	1,82	47			21	77,64	1,82	141	
	22	26	1,82	47,507			22	171	5,46	933			22	514,32	7,28	3744	
	23	26	1,82	47,507			23	26,103	1,82	47			23	26,103	1,82	47	
	24	171	3,64	622,44			24	171	3,64	622			24	171	5,46	933	
	25	26	1,82	47,507			25	26,103	1,82	47			25	26,103	1,82	47,507	
	26	26	1,82	47,507			26	171	1,82	311			26	171	3,64	622	
-	-	-	-	27	26,103	1,82	47	27	26,103	1,82	47,507						
-	-	-	-	28	190,53	7,28	1387	28	171	1,82	311						
-	-	-	-	29	26,103	1,82	47	29	26,103	1,82	47						
-	-	-	-	30	171	5,46	933	30	171	1,82	47,507						
-	-	-	-	31	26,103	1,82	47	31	56	29,12	1637						
-	-	-	-	32	171	3,64	622	32	78	7,28	569,44						
-	-	-	-	33	26,103	1,82	47	33	26	1,82	47,507						
-	-	-	-	34	171	1,82	311	34	171	5,46	933,66						
-	-	-	-	35	26,103	1,82	47	35	26	1,82	47,507						
3	1	134	29,12	3914	17443	9	1	134,44	29,12	3914	54600	5	6	171	3,64	622,44	33397
	2	26	1,82	47,507			2	26,103	1,82	47			7	26	1,82	47,507	
	3	26	1,82	47,507			3	26,103	1,82	47			8	171	1,82	311,22	
	4	85	25,48	2178			4	171	25,48	4357			9	26	1,82	47,507	
	5	85	10,92	933,66			5	26,103	1,82	47			10	161	21,84	1758	
	6	26	1,82	47,507			6	26,103	1,82	47			11	78	14,56	1138	
	7	26	1,82	47,507			7	171	21,84	3734			12	77	1,82	141,305	
	8	171	7,28	1244			8	26,103	1,82	47			13	77	1,82	141,305	
	9	26	1,82	47,507			9	26,103	1,82	47			14	171	10,92	20540	
	10	26	1,82	47,507			10	171	18,2	31112			15	77	1,82	141,305	
	11	171	3,64	622,44			11	26,103	1,82	47			16	77	1,82	141,305	
	12	26	1,82	47,507			12	26,103	1,82	47			17	171	7,28	1244	
	13	26	1,82	47,507			13	479,88	14,56	6987			18	77	1,82	141,305	
	14	324	14,56	4724,6			14	26,103	1,82	47			19	77	1,82	141,305	
								20	171	3,64	622,44						

	15	26	1,82	47,507		15	26,103	1,82	47		21	77	1,82	141,305	
	16	26	1,82	47,507		16	171	10,92	1867		22	77	1,82	141,305	
	17	85	3,64	311,22		17	26,103	1,82	47		23	241	7,28	1715	
	18	85	10,92	933,66		18	26,103	1,82	47		24	26	1,82	47,507	
	19	26	1,82	47,507		19	171	7,28	1244		25	171	5,46	933,66	
	20	26	1,82	47,507		20	26,103	1,82	47		26	26	1,82	47,507	
	21	171	7,28	1244		21	26,103	1,82	47		27	171	3,64	622,44	
	22	26	1,82	47,507		22	171	3,64	622		28	26	1,82	47,507	
	23	26	1,82	47,507		23	26,103	1,82	47		29	171	1,82	311,22	
	24	171	3,64	622,44		24	26,103	1,82	47		30	26	1,82	47,507	
	25	26	1,82	47,507		-	-	-	-		-	-	-	-	
	26	26	1,82	47,507		-	-	-	-		-	-	-	-	
4	1	56	29,12	1637	11591	1	284,48	29,12	8283	29970	1	733,95	29,12	21372	39263
	2	78	14,56	1138		2	77,64	1,82	141		2	196,84	7,28	1442	
	3	26	1,82	47,507		3	77,64	1,82	141		3	26,103	1,82	47	
	4	26	1,82	47,507		4	171	25,48	4357		4	171	5,46	933	
	5	171	10,92	1867		5	77,64	1,82	141		5	26,103	1,82	47	
	6	26	1,82	47,507		6	77,64	1,82	141		6	171	3,64	622	
	7	26	1,82	47,507		7	171	21,84	3734		7	26,103	1,82	47	
	8	171	7,28	1244		8	77,64	1,82	141		8	171	1,82	311	
	9	26	1,82	47,507		9	77,64	1,82	141		9	26,103	1,82	47	
	10	26	1,82	47,507		10	171	18,2	3112		10	112,04	21,84	2446	
	11	171	3,64	622,44		11	77,64	1,82	141		11	85,53	7,28	622	
	12	26	1,82	47,507		12	77,64	1,82	141		12	26,103	1,82	47	
	13	26	1,82	47,507		13	78,29	14,56	1139		13	171	5,46	933	
	14	402	14,56	586,36		14	352,09	7,28	2563		14	26,103	1,82	47	
	15	26	1,82	47,507		15	26,103	1,82	47		15	171	3,64	622	
	16	26	1,82	47,507		16	171	5,46	933		16	26,103	1,82	47	
	17	171	10,92	1867		17	26,103	1,82	47		17	171	1,82	311	
	18	26	1,82	47,507		18	171	3,64	622		18	26,103	1,82	47	
	19	26	1,82	47,507		19	26,103	1,82	47		19	212,45	14,56	3093	
	20	171	7,28	1244		20	171	1,82	311		20	85,53	7,28	622	
	21	26	1,82	47,507		21	26,103	1,82	47		21	26,103	1,82	47	
	22	26	1,82	47,507		22	352,09	7,28	2563		22	171	5,46	933	
	23	171	3,64	622,44		23	26,103	1,82	47		23	26,103	1,82	47	
	24	26	1,82	47,507		24	171	5,46	933		24	171	3,64	622,44	
	25	26	1,82	47,507		25	26,103	1,82	47		25	26,103	1,82	47,507	
	-	-	-	-		26	171	3,64	622		26	171	1,82	311	
-	-	-	-	27	26,103	1,82	47	27	26,103	1,82	47				
-	-	-	-	28	171	1,82	311	28	196,84	5,46	1433				
-	-	-	-	29	26,103	1,82	47	29	26,103	1,82	47				
-	-	-	-	-	-	-	-	30	171	5,46	933				
-	-	-	-	-	-	-	-	31	26,103	1,82	47,507				
-	-	-	-	-	-	-	-	32	171	3,64	622				
-	-	-	-	-	-	-	-	33	26,103	1,82	47,507				
-	-	-	-	-	-	-	-	34	171	1,82	311,22				
-	-	-	-	-	-	-	-	35	26,103	1,82	47,507				

В таблице 3 приведены результаты расчета тепловых потерь, по методике, приведенной в работе [2].

Таблица 3

Результаты расчета тепловых потерь

Схема	$\sum M$	$\sum l$	$M_{\text{вс}}$	q	Q	Схема	$\sum M$	$\sum l$	$M_{\text{вс}}$	q	Q
1	497,895	1903	783	6,2	4855	7	701,214	2696	1106	6,2	6854
2	532,005	1903	817	6,2	5067	8	731,917	2919	732	6,2	7252
3	485,618	1903	771	6,2	4780	9	606,385	606	2058	6,2	5673
4	395,08	1981	692	6,2	4291	10	848,309	848	1222	6,2	7576
5	643,930	2984	1092	6,2	6767	11	1031,217	1031	3810	6,2	9936
6	625,404	2778	1042	6,2	6460	12	808,386	808	3375	6,2	8149

Вывод. Анализ приведенных в таблицах 1-3 данных численного исследования материальной характеристики тепловой сети, фактического момента тепловой нагрузки и тепловых потерь для рассматриваемых вариантов трассировки показывает, что оптимальные варианты по различным показателям не совпадают. Наиболее предпочтительными вариантами трассировки являются схемы 4 и 8. Таким образом, очевидно, что при выборе одного из указанных критериев, выбор оптимального варианта может оказаться ошибочным. Избежать наличия подобных ошибок можно путем поиска оптимального решения на основании нескольких критериев, например указанных в данной работе, либо с дополнением другими параметрами, что естественно повысит объективность полученных результатов.

Библиографический список

1. Ловягин, В. Ф. Иерархическая система процесса проектирования оптимальных трасс инженерных сооружений / В. Ф. Ловягин, В. К. Панкрушин // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2001. – № 6. – С. 45-51.
2. Ионин, А. А. Теплоснабжение / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А. А. Иониной. – М.: Стройиздат. – 1982. – 336 с.
3. Сеннова, Е. В. Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем / Е. В. Сеннова, В. Г. Сидлер. – Новосибирск: Наука. – 1987. – 219 с.
4. Хасилев, В. Я. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / В. Я. Хасилев, А. П. Меренкова и др., под общ. ред. В. Я. Хасилева и А. П. Меренковой. – М.: Энергия. – 1978. – 176 с.
5. Хрилев, Л. С. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения / Л. С. Хрилева, И. А. Смирнов. – М.: Энергия. – 1978. – 264 с.
6. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ. – 2001. – 472 с.
7. Чуйкина, А. А. Исследование существующих зависимостей для определения материальной характеристики тепловой сети / А. А. Чуйкина, К. А. Хамидулина, Е. Е. Сошникова, М. А. Яковлева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №2(11). – С. 34-41.
8. Чуйкина, А. А. Зависимость материальных характеристик тепловой сети от распределения нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева, А. Р. Коломийчук // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №3(12). – С. 16-20.
9. Мелькумов, В. Н. Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляр, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – №4(48). – С. 29-37.
10. Мелькумов, В. Н. Влияние планировки функциональных зон городов на развитие систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – №1(53). – С. 116-123.
11. Чуйкина, А. А. Исследование связи материальных характеристик тепловой сети и момента тепловой нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, К. А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №4(13). – С. 9-16.
12. Папушкин, В. Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое / В. Н. Папушкин // Новости теплоснабжения. – 2010. – №9. – С. 44-49.

Для цитирования: Чуйкина, А. А. Планирование оптимальной трассы системы теплоснабжения при равномерном распределении тепловой нагрузки / А. А. Чуйкина, Е. В. Плаксина, А. Р. Бохан, К. А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 2 (15). – С. 50-57.

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Уважаемые авторы, пожалуйста, строго следуйте правилам написания и оформления статей для опубликования в журнале «Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации».

1. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Обязательными структурными элементами статьи являются *Введение* (~0,5 страницы) и *Выводы* (~0,5 страницы), другие логические элементы (пункты и, возможно, подпункты), которые следует выделять в качестве заголовков.

1.1. *Введение* предполагает:

- обоснование актуальности исследования;
- анализ последних публикаций, в которых начато решение исследуемой в статье задачи (проблемы) и на которые опирается автор в своей работе;
- выделение ранее не решенных частей общей задачи (проблемы);
- формулирование цели исследования (постановка задачи).

1.2. Основной текст статьи необходимо структурировать, выделив логические элементы заголовками (например, «Анализ характера разрушения опытных образцов...», «Расчет прочности тела фундамента»). В основном тексте рекомендуется выделение не менее двух пунктов (разделов).

1.3. Завершить изложение необходимо *Выводами*, в которых следует указать, в чем заключается научная новизна изложенных в статье результатов исследования («Впервые определено/рассчитано...», «Нами установлено...», «Полученные нами результаты подтвердили/опровергли...»).

2. Особое внимание следует уделить аннотации: она должна в сжатой форме отражать содержание статьи. Логически аннотация, как и сам текст статьи, делится на три части - *Постановка задачи* (или *Состояние проблемы*), *Результаты* и *Выводы*, которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста - введения, основного текста и выводов.

Требуемый объем аннотации – 7÷10 строк, набранных шрифтом высотой 10 пт.

3. Статьи представляются в электронном и отпечатанном виде, печатный экземпляр должен быть подписан всеми авторами.

4. Обязательно указание мест работы всех авторов, их должностей, контактной информации (сведения об авторах приводятся в начале статьи и набираются шрифтом высотой 10 пт.).

5. Объем статьи должен составлять не менее 5 и не более 10 страниц формата А 4. Поля слева и справа – по 2 см, снизу и сверху – по 2,5 см.

6. Обязательным элементом статьи является индекс УДК.

7. Сведения об авторах, аннотация, ключевые слова и библиографический список приводятся на русском и на английском языках.

8. Для основного текста используйте шрифт Times New Roman высотой 12 пунктов с одинарным интервалом. Не используйте какой-либо другой шрифт. Для обеспечения однородности стиля не используйте курсив, а также не подчеркивайте текст. Отступ первой строки абзаца – 1 см.

9. Графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Название иллюстраций (10 пт., обычный) дается под ними после слова Рис. с порядковым номером (10 пт., полужирный). Если рисунок в тексте один, номер не ставится. Все рисунки и фотографии желательно представлять в цветном варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение не менее 300 dpi. Избегайте тонких линий в графиках (толщина линий должна быть не менее 0,2 мм). Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются.

10. Слово «Таблица» с порядковым номером размещается по правому краю. На следующей строке приводится название таблицы (выравнивание по центру без отступа) без точки в конце. Единственная в статье таблица не нумеруется.

11. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми. Все употребляемые автором обозначения и аббревиатуры должны быть определены при их первом появлении в тексте.

12. Все латинские обозначения набираются курсивом, названия функций (\sin , \cos , \exp) и греческие буквы - обычным (прямым) шрифтом. Все формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType. Пояснения к формулам (экспликация) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки).

13. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи на русском языке в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. Список источников приводится в алфавитном порядке или по порядку их упоминания в тексте.

14. Редакция обеспечивает рецензирование статей. Статья рецензируется не более двух раз, после повторной отрицательной рецензии статья отклоняется.

15. Для публикации статьи необходимо заполнить и выслать на адрес редакции сопроводительное письмо (шаблон письма размещен на сайте журнала <http://journal-gik.wmsite.ru>).

16. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи.

17. Редакция поддерживает связь с авторами преимущественно через электронную почту - будьте внимательны, указывая адрес для переписки.

18. Представляя рукопись в редакцию, автор гарантирует, что:

- он не публиковал и не будет публиковать статью в объеме более 50 % в других печатных и (или) электронных изданиях, кроме публикации статьи в виде препринта;

- статья содержит все предусмотренные действующим законодательством об авторском праве ссылки на цитируемых авторов и издания, а также используемые в статье результаты и факты, полученные другими авторами или организациями;

- статья не включает материалы, не подлежащие опубликованию в открытой печати, в соответствии с действующими нормативными актами.

Автор согласен с тем, что редакция журнала имеет право:

- предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;

- производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи;

- допечатывать тираж журнала со статьей автора, размещать в СМИ предварительную и рекламную информацию о предстоящей публикации статьи и вышедших в свет журналах.

19. Рукописи статей авторам не возвращаются (даже в случае отказа в публикации) и вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается.