

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ**

Выпуск № 3(16) 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

№ 3(16)

Сентября, 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:** **Тулеская 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

Куцев 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: *Тулеская С. Г.* Дизайн обложки: *Чуйкина А. А.*

Дата выхода в свет 30.09.2019. Усл. печ. л. 7.44. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 277

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

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.....	6
<i>Голуб Н. Д., Залеский Д. В., Лаптев А. Г., Жывалевская И. В.</i>	
Усиление фундаментов существующих зданий с помощью микросвай.....	6
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОВЕЩЕНИЕ.....	12
<i>Блинкова Е. С., Рыжков О. И.</i>	
Теплопотребление на нужды горячего водоснабжения жилого здания.....	12
<i>Сапрыкина Н. Ю., Яковлев П. В.</i>	
Совершенствование методики прогнозирования температурных режимов породного массива вокруг низкопотенциальной геотермальной скважины.....	16
<i>Мартыненко Г. Н., Сафонов Н. Е., Щелкановцев Д. Д., Серегина Е. А.</i>	
Оптимальные методы умягчения воды в котельной.....	26
<i>Ермаков Н. О., Тульская С. Г.</i>	
Преимущества внедрения информационного моделирования при реконструкции типовых серий жилых домов.....	31
<i>Миляева А. В., Щукина Т. В., Исаева Е. С.</i>	
Перспективы применения биогазовых технологий для очистных сооружений г. Воронеж.....	36
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	42
<i>Пискунков А. А., Копытина Е. А., Чудинова П. А., Петрикеева Н. А.</i>	
Влияние воздушных линий переменного тока на стальные трубопроводы.....	42
ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....	46

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.159.4

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСВАЙ

Н. Д. Голуб, Д. В. Залеский, А. Г. Лаптев, И. В. Жывалевская

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы

Н. Д. Голуб, студентка инженерно - строительного факультета

Беларусь, г. Гродно, тел.: +375 (29) 739- 69 -25, e-mail: golub.natasha13@gmail.com

Д. В. Залеский, студент инженерно - строительного факультета

Беларусь, г. Гродно, тел.: +375 (29) 536- 95- 42, e-mail: yandaumex@gmail.com

А. Г. Лаптев, студент инженерно - строительного факультета

Беларусь, г. Гродно, тел.: +375 (29) 356- 67- 73, e-mail: andrei753852@gmail.com

И. В. Жывалевская, старший преподаватель кафедры строительных конструкций

Беларусь, г. Гродно тел.: +375 (29) 782- 58- 19, e-mail: danilchik_iv@mail.ru

Постановка задачи. В настоящее время достаточно часто фундаменты существующих зданий подвергаются реконструкции. Это может быть связано с различными причинами, начиная от ошибок при проектировании и заканчивая износом в связи с истечением срока эксплуатации.

Результаты. В данной статье рассмотрено несколько методов усиления фундаментов с применением микросвай. Представлены примеры использования этих методов на строительной площадке.

Выводы. Методы усиления фундаментов с помощью микросвай получают все большее распространение как в странах СНГ, так и за рубежом. Преимуществами микросвай являются скорость их устройства, широкая возможность унификации, гибкость технологического решения, отсутствие необходимости в тяжёлых механизмах, минимизация ручного труда и используемых ресурсов.

Ключевые слова: усиление фундаментов, микросвай, буроинъекционные микросвай, самозабуриваемые винтонабивные микросвай.

Введение. В крупных городах множество строений подвергается реконструкции, расширению путем надстройки этажей, углубления подвала, когда не только грунты, но и фундаменты уже не способны воспринимать новые нагрузки, и возникает необходимость в их усилении.

Одним из способов усиления является усиление фундаментов микросваями и перед другими методами они имеют ряд преимуществ [1]:

- технологичность и высокие темпы устройства;
- возможность устройства в сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях (в слабых и водонасыщенных грунтах, с твердыми включениями, в условиях сложного прослаивания скальных пород существенно различной прочности и т.д.);
- мобильность и компактность строительного оборудования;
- относительно малый вес и малые размеры микросвай;
- возможность устройства свай с использованием только ручного инструмента (диаметром до 30-40 мм и длиной до 6 м);

- возможность устройства в стесненных условиях и на труднодоступных площадках строительства без остановки технологических процессов;
- экологичность процесса строительства за счет снижения ударных, вибрационных и динамических воздействий;
- возможность бурения сквозь бетонные и железобетонные конструкции без повреждения усиливаемой конструкции за пределами площадки бурения;
- возможность устройства наклонных микросвай любого расположения (от вертикального вниз и наклонного до вертикального вверх).

При их изготовлении возможно применение различных конструктивных форм [2]:

- единое поперечное сечение (цилиндрическая форма);
- телескопическое изменение поперечного сечения;
- расширение профиля;
- расширение основания.

Наиболее распространенными способами устройства микросвай являются [1]:

- буроинъекционные микросваи, устраиваемые в предварительно пробуренных скважинах путем нагнетания (инъекции) в них мелкозернистой бетонной смеси;
- микросваи, изготавливаемые методом непрерывного полого шнека (НПШ);
- самозабуриваемые винтонабивные микросваи с одновременной подачей водоцементного раствора и применением буровой штанги в качестве центрального армирующего элемента;
- технология устройства свай из стальных труб миниатюрного размера.

1. Буроинъекционные микросваи. Устройство с предварительной проходкой скважины допускается практически во всех типах грунтов. Работы, как правило, выполняются следующим образом [1]:

- разработка скважины (с креплением стенок или без);
- устройство уширения пяты механическим способом или трамбованием (при необходимости);
- погружение арматурного каркаса (несущего элемента);
- заполнение самой скважины бетоном или цементным раствором;
- извлечение обсадной трубы (при ее наличии);
- инъекционная опрессовка ствола.

В скважинах устроенных погружением в грунт инвентарных труб, уширение пяты может выполняться путем виброуплотнения либо вытрамбовывания объема грунта.

Заполнение скважины бетоном или цементным раствором выполняется через опускающую трубу, бетоновод, извлекаемую по мере бетонирования [3]. Схема изготовления свай по данной технологии представлена на рис. 1.

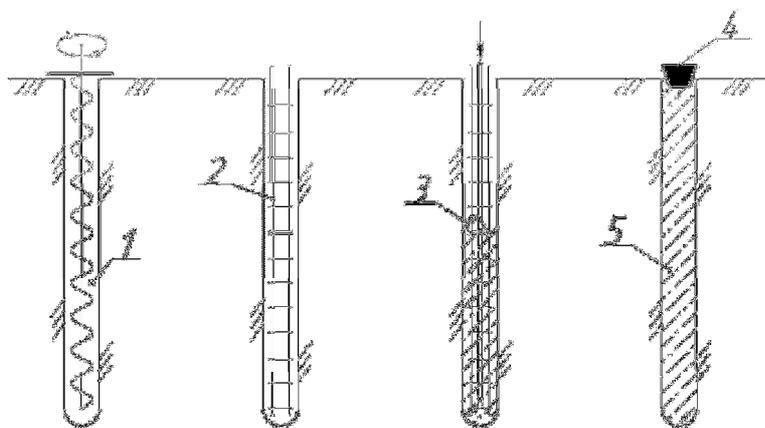


Рис. 1. Схема изготовления буроинъекционных микросвай: 1 – скважина; 2 – арматурный каркас; 3 – инъекционная труба; 4 – опрессовыватель; 5 – готовая свая

2. Устройство микросвай методом НПС [1–4]. Возможно производство во всех типах грунтов, за исключением скальных и крупнообломочных.

Работы, как правило, выполняют следующим образом:

- центровка и установка в вертикальное положение шнека буровой машины;
- бурение грунтов колонной полых шнеков до требуемой проектной глубины с выбросом грунта на поверхность посредством спиральной навивки шнека;
- подача бетонной смеси, цементного или цементно-песчаного раствора с помощью бетононасоса в полость буровой колонны до полного ее заполнения;
- нагнетание насосом под давлением бетонной смеси в буровую колонну при непрерывном ее подъеме от низа до верха без остановок;
- разъединение и вращение шнеков до заполнения скважины;
- погружение пространственного арматурного каркаса вибропогружателем в полностью заполненную бетонной смесью и подготовленную скважину с зачищенным устьем;
- после достижения арматурным каркасом заданной проектной отметки, демонтаж вибропогружателя и закрепление каркаса в проектом положении;
- удаление извлеченного на поверхность грунта и зачистка устья скважины со снятием верхнего слоя бетона (в возрасте бетона микросвай не более суток).

Примером усиления существующего фундамента с использованием данной технологии является усиление фундамента Медицинского центра в Мемфисе, штат Теннесси [4]. Территория медицинского центра находится под влиянием зоны разлома Нью-Мадрид, штат Миссури, который является центром самой высокой сейсмичности в центральной части Соединенных Штатов.

Микросваи были выбраны среди других технологий, чтобы исключить ожидаемое деформирование стен во время землетрясения.

В общей сложности было установлено 184 микросваи с использованием стальной трубы диаметром 7 дюймов (178 мм) N80. При бурении внутри трубы был установлен центральный стальной стержень диаметром 32 или 36 мм. Цементный раствор подавался через дополнительную трубу, чтобы заполнить оболочку. Затем трубу извлекали вращением по всей длине сваи, в то время как через головку сверла подавали раствор в соответствии с рис. 2.

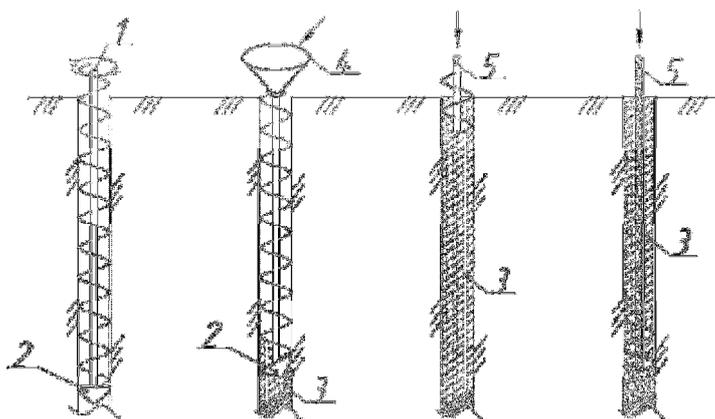


Рис 2. Технология изготовления микросвай методом НПС: 1 – буровой шнек; 2 – нижнее долото; 3 – цементный раствор; 4 – воронка; 5 – арматурный каркас

3. Устройство самозабуриваемых винтонабивных микросвай. Допускается во всех видах песчаных, глинистых и скальных грунтов. Винтонабивные микросваи являются разновидностью буроинъекционных свай, но отличаются способом устройства.

Устройство таких свай производится методом последовательного забуривания в грунт составляющих трубчатых винтовых штанг (ТВШ) с муфтовым соединением и передовой бу-

ровой коронкой, при одновременной промывке скважины буровым цементным раствором. По достижении проектной длины микросваи, производят опрессовку скважины более густым цементным раствором. Схема закрепления микросваи из ТВШ представлена на рис. 3.

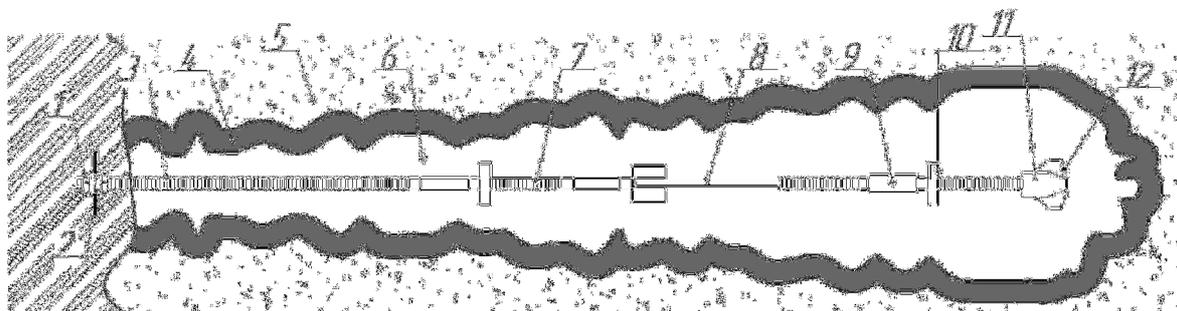


Рис. 3. Схема закрепления микросваи из ТВШ в грунте: 1 – фиксирующая гайка; 2 – опорная плита; 3 – защитная трубка из ПВХ; 4 – зона первичной инъекции грунта; 5 – вмещающий грунт; 6 – цементное тело; 7 – ребристая штанга; 8 – внутренний канал штанги; 9 – соединительная муфта; 10 – распорка; 11 – буровая коронка; 12 – инъекционное отверстие

Данная технология усиления применялась при реконструкции бывшего административного здания в гостиницу в Центральной части Санкт-Петербурга [5]. Гостиница представляет собой 6-ти этажное здание в монолитном железобетонном каркасе высотой 24,0 м и максимальной высотой 27,7 м. Здание во время блокады пострадало от прямого попадания авиационной бомбы.

Под всем зданием гостиницы предусмотрен заглубленный этаж для автостоянки автомобилей и технических помещений. Фундаментами сооружения служат буронабивные сваи диаметром 410 и 550 мм, изготавливаемые по технологии уплотнения грунта DDS с использованием бурового оборудования фирмы «Вауег».

В состав работ по усилению фундаментов входило инъекционное укрепление тела фундамента при помощи инъекции цементного раствора, а также установка 75 наклонных анкерных свай по технологии «Титан» длиной 25 м и диаметром 200 мм с поверхности основания. Скважины под анкерные сваи бурились без обсадных труб ударно-вращательным способом с подачей по внутреннему каналу штанги промывочного раствора под давлением.

Еще одним примером использования технологии самозабуриваемых винтонабивных микросвай является усиление фундаментов многоквартирного дома в городе Верхняя Силезия (Польша) [6]. Добыча полезных ископаемых в районе расположения здания способствовала его осадке. Чтобы стабилизировать здание и защитить его от дальнейшего разрушения, был разработан проект усиления фундамента.

Усиление выполнялось с использованием микросвай, просверленных через стенки фундамента с цементацией под высоким давлением. Во время инъекции бурового раствора полый стальной стержень служит в качестве канала и остается готовой свай в качестве усиления. Конец стержня оснащен сверлом, выбранным в зависимости от типа почвы. Для соединения стержней используются системные стяжки. Во время бурения осуществляется предварительная закачка бурового раствора. Просачивание раствора в грунт стабилизирует стенки скважины, устраняя необходимость в обсадной колонне.

После достижения заданной глубины производится окончательная инъекция. Скважина заливается снизу вверх. Это обеспечивает правильное заполнение скважины. Стержни, вставленные в скважину, остаются в качестве усиления для свай.

Работы начались в конце октября 2013 года. Сваи были введены в грунт через стены фундамента под углом 2° – 5° . Бурению предшествовало вырезание ниш в стенах. После установки микросвай эти ниши были заполнены бетоном. Из-за ограниченного пространства бурение осуществлялось с помощью дрели с ручным приводом, установленной на стенде. Микросваи были изготовлены из сращиваемых частей длиной 1 метр.

4. Технология устройства свай из стальных миниатюрных труб [7]. Технология устройства свай из стальных миниатюрных труб также известна как метод предварительного просверливания со вспомогательным погружением.

Сначала, вблизи основания здания пробуриваются отверстия с использованием небольшой буровой установки. Далее, сборные сваи из стальных труб небольшого размера укладывают в отверстие, а затем осаждают сваи с помощью подвесного молотка до тех пор, пока свая не опустится до проектного уровня или не достигнет требуемой глубины погружения, после чего в стальную трубу заливается бетон. Наконец, сварка свай и ростверка в единое целое увеличивает несущую способность фундамента здания в соответствии с рис. 4.

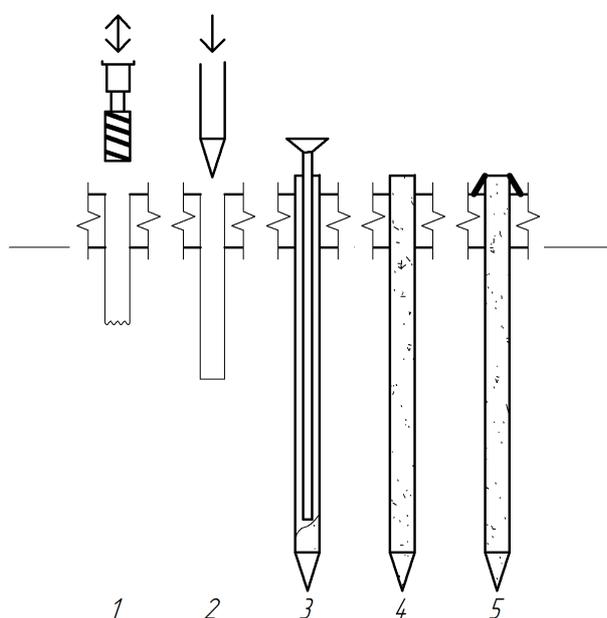


Рис. 4. Технология устройства стальных труб малого диаметра: 1 – бурение отверстия для сваи; 2 – установка стальной трубы в отверстие; 3 – заливка бетоном; 4 – завершение заполнения трубы; 5 – сварка/закрепление в ростверке

Как правило, диаметр отверстия для предварительного бурения должен быть на 20 мм меньше проектируемой сваи, глубина отверстия для предварительного бурения должна составлять $1/3 \sim 1/2$ от глубины залегания сваи.

Диаметр стальных труб составляет 130 ~ 200 мм, толщина стенки 6 мм и длина 3 ~ 10 м. Для облегчения обработки, транспортировки и подъема труба должна быть предварительно разделена на части (1,5 ~ 2,5 м.). Во время строительства внутри помещения длина секции не должна превышать 2 м.

Нижняя часть сваи преобразовывается в форму замкнутого конуса, длина которого обычно в 1,5 раза больше диаметра сваи. Поверхность стальной трубы должна быть подвергнута антикоррозионной обработке.

Когда конец сваи достигает проектной глубины или достигается отказ сваи, выполняется заливка тела сваи бетоном.

Заливка свай делится на две стадии: внутри и снаружи трубы. После погружения вставляют тампонажную трубу, цементируя снизу вверх, пока внутренняя труба не заполнится цементным раствором. Для наружной цементации используется цементно-силикатная суспензия, объемное соотношение цемента и силиката составляет 1: 0,2.

Сваи из миниатюрных стальных труб решают проблему усиления и укрепления фундамента вплоть до 8-этажных зданий с использованием небольшой буровой установки и некоторого количества специальных инструментов. Благодаря преимуществам, удобству устройства и гибкости в процессе строительства, в последние годы эти сваи широко применяются в защите грунтов от оползней и укреплении стенок котлованов.

Выводы. На основании проделанной работы можно сделать вывод, что область применения микросвай значительно превосходит их использование исключительно как технологию незначительного усиления небольших и малозначимых фундаментов и может успешно использоваться для огромного множества технологических задач. В современном мире микросваи бурно развиваться и уже имеют достаточно широкое применение в Европе и Америке именно из-за наличия в них суммы некоторых ключевых преимуществ по сравнению с традиционными технологиями усиления фундаментов и оснований.

К этим преимуществам относятся их скорость устройства, широкая возможность унификации, гибкость технологического решения, отсутствие необходимости в тяжёлых механизмах, минимизация ручного труда и используемых ресурсов. В конечном итоге все это ведёт к значительному сокращению средств на выполнение усиления и выводит усиление по этой технологии в лидеры по результатам сравнения с более традиционными технологиями.

Библиографический список

1. **ОДМ 218.2.066-2016.** Методические рекомендации по использованию анкерных свай и микросвай в составе мероприятий инженерной защиты автомобильных дорог. Издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 03.08.2016 г. N 1516, 2016. – М.: Росавтодор, 2016. – С. 87.
2. **СТБ EN 14199 – 2009.** Микросваи. Проведение специальных геотехнических работ. Утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 10.12.2009 г. – РУП «Стройтехнорм», г. Минск, 2009. – 92 с.
3. **СТО НОСТРОЙ 109-2013.** Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работ. – Введ. Впервые. – М.: Издательство «БСТ», 2013. – 234 с.
4. Ism workshop: micropile underpinning and seismic foundation retrofit veterans administration medical center, memphis, tennessee. / Univ. of Kraków, Poland, 2014, ed.: John R. Wolosick, PE, D.GE1 and Peter J. Nufer, PE2: Univ. of Kraków, Poland, 2014. – 10 p.
5. Transportation Geotechnics and Geoecology, TGG 2017, 17–19 May 2017, Saint Petersburg, Russia Construction of deep foundation ditch under a reconstructed multi-storey building on the main avenue of St.Petersburg Mangushev Ra1., Dr. Sc. Geotechnic, Professor; Osokin A., Ph.D., Geotechnic, Docent* . a Geotechnical Department, St.Petersburg State Civil Engineering University, Saint-Petersburg, 190005,Russia, 2017. – 8 p.
6. The 12th international workshop on micropiles: application of micropiles to the stabilization of a deflected old tenement house/ Univ. of Kraków, Poland, 2014, ed.: Krzysztof Sternik, Tomasz Blejarski: Univ. of Kraków, Poland, 2014. – 13 p.
7. Geological Engineering Drilling Technology Conference (IGEDTC), New International Convention Exposition Center Chengdu Century City on 23rd-25th May 2014, Research and Application of Mini-sized Steel Pipe Pile Technology in Limited Space, Zhang Xudonga, a.Jiangxi Province Nuclear Industry Geological Bureau, Nanchang, 330046 , China, 2014. – 22 p.

Для цитирования: **Голуб, Н. Д.** Усиление фундаментов существующих зданий с помощью микросвай / Н. Д. Голуб, Д. В. Залеский, А. Г. Лаптев, И. В. Жывалевская // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3 (16). – С. 6-11.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 696.41

ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ НА НУЖДЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Е. С. Блинкова, О. И. Рыжков

Воронежский государственный технический университет

Е. С. Блинкова, магистрант кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела

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

О. И. Рыжков, старший преподаватель кафедры иностранных языков и технологии перевода

Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)276-39-73, e-mail: kaf_in_yaz@vgasu.vrn.ru

Постановка задачи. При расчетах потребителя с поставщиком тепловой энергии в рамках договора о теплоснабжении, возникают ситуации, требующие применения расчетных методов. Могут использоваться различные методики расчета, отыскание наиболее точной является актуальной задачей [1–8].

Результаты. Для жилого многоквартирного дома по методике, рекомендуемой СП 373.1325800.2018, а также с учетом местного норматива по г. Воронеж, рассчитано значение теплотребления на нужды горячего водоснабжения за отопительный и неоперительный период 2018-2019 г.

Выводы. На основе сопоставления результатов расчета и фактических данных, взятых с общедомового прибора учета, установлено, что значения получаются заниженными практически в два раза.

Ключевые слова: горячее водоснабжение, расход теплоты, расчетный метод, теплотребление.

Введение. Современное законодательство в области жилищно-коммунального хозяйства требует наличия приборов учета потребленных ресурсов, в том числе и горячей воды. Требования федеральных законов выполняются. Например в г. Воронеж практически весь жилой фонд оборудован необходимыми общедомовыми приборами учета [1–3]. В ряде случаев при отсутствии технической возможности установки, в ветхом и аварийном жилье, оплата за потребленный ресурс осуществляется по договору теплоснабжения. В договоре может быть прописана конкретная методика расчета потребления горячей воды или местные нормативы при их наличии. При отсутствии приборов учета в квартире собственники также рассчитываются по нормативам потребления [4–15].

1. Методика расчета. В 2018 г. вышел норматив СП 373.1325800.2018, который имеет приложение с рекомендуемой методикой расчета тепловых нагрузок для интегрированных автономных источников теплоснабжения.

Средний расход количества теплоты на компонент горячего водоснабжения Q_{hm} , Вт может быть определён по формуле:

$$Q_{hm} = \frac{1,2m(a+b)(55-t_c)}{2,4 \cdot 3,6} c, \quad (1)$$

или

$$Q_{hm} = q_n m, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий тепловые потери от стояков и полотенцесушителей, системы горячего водоснабжения; m – число человек; a – норма расхода воды, при температуре 65°C, для жилых и общественных зданий на одного человека в сутки, которая принимают в соответствии с СП 30.13330, л/сут; b – то же, для общественных зданий; t_c – температура водопроводной воды используемой на нужды горячей в отопительный период, при отсутствии данных принимают равной 5 °С; c – удельная теплоёмкость воды, принимаемая равной 4,187 кДж/(кг К); q_n – укрупненный показатель среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение на одного человека.

Среднюю нагрузку на горячее водоснабжение в летний период Q_{hm}^s , Вт, для жилых зданий определяют по формуле

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} \frac{(55-t_c^s)}{(55-t_c)} \beta, \quad (3)$$

где t_c^s – температура холодной (водопроводной) воды в летний период (при отсутствии данных принимают равной 15 °С); β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в летний период по отношению к отопительному периоду, принимают при отсутствии данных для жилых домов 0,8.

В г. Воронеж действует приказ управления жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Воронежской области от 10 июля 2013 года № 116 «Об утверждении нормативов потребления коммунальных услуг по холодному, горячему водоснабжению, водоотведению в жилых помещениях на территории Воронежской области» (с изм. 14.11.2016 г.). При наличии централизованной сети горячего водоснабжения в жилых домах, оборудованных раковиной, кухонной мойкой, унитазом, ванной с душем норматив составляет 3,07 кубических метра на 1 человека в месяц. С учетом плотности воды имеющей значение 983,2 кг/м³ при температуре 60 °С, принимая 365 дней в году, получим значение норматива 99,24 л/сут/чел.

Как следует из СП 30.13330.2016, нормы расхода воды, утвержденные региональными органами власти, являются приоритетными по отношению к рекомендуемым данным документом.

2. Расчет потребления горячей воды жилым домом. По приведенной выше методике были проведены расчеты потребления горячей воды многоквартирным десятиэтажным жилым домом, находящемся в г. Воронеж введенным в эксплуатацию в 2013 г, за период 2018 – 2019 г. (отопительный и неотопительный период).

На рисунке 1 представлены результаты расчета месячного потребления теплоты по статье горячее водоснабжение. На рисунке 1а) приведены результаты расчета для отопительного периода, а на рисунке 1б) для неотопительного. В обоих случаях учитывались проектные (по СП) и фактические климатологические данные. На этих же диаграммах представлены значения, полученные по прибору учета (красный цвет). На диаграммах указаны значения, наиболее отдаленные от фактических по прибору.

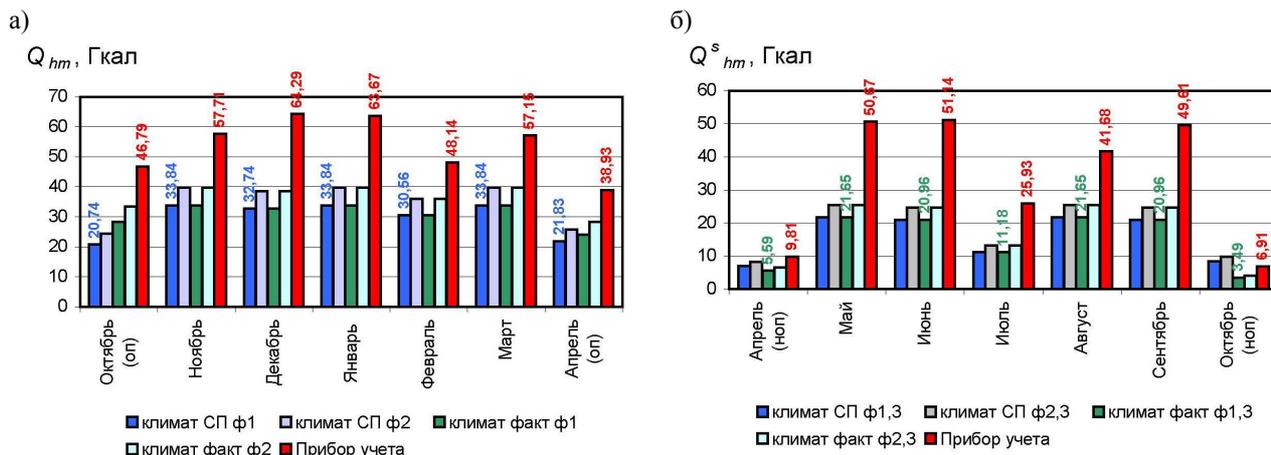


Рис.1. Значения теплопотребления на нужды горячего водоснабжения: а) отопительный период; б) неотопительный

На рис. 2а) приведены результаты расчета для отопительного периода, а на рис. 1б) для неотопительного при использовании местного норматива.

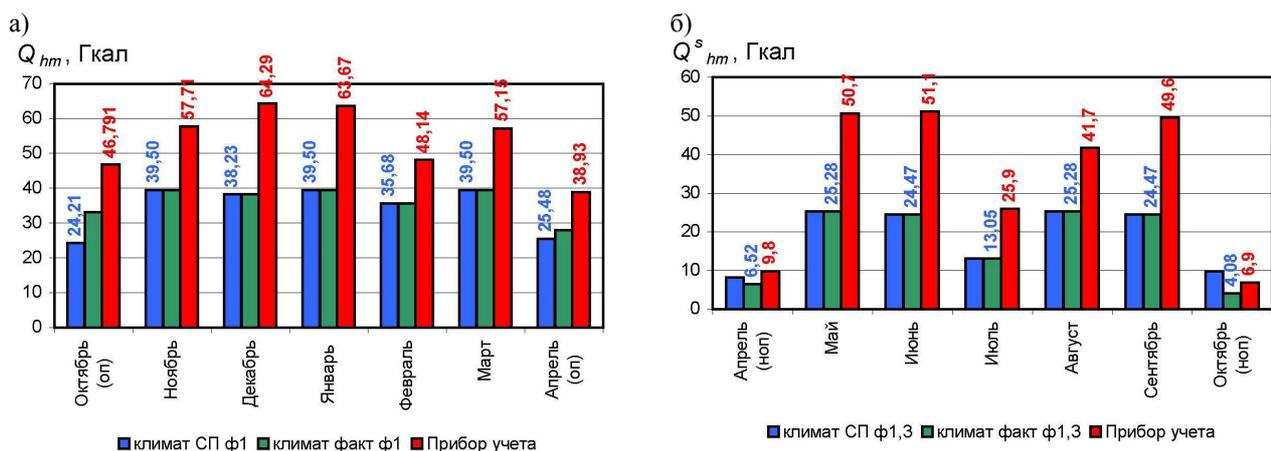


Рис.2. Значения теплопотребления на нужды горячего водоснабжения при использовании местного норматива: а) отопительный период; б) неотопительный

3. Анализ полученных результатов. Из рисунке 1 и 2 следует, что фактические значения потребления теплоты значительно больше полученных расчетным методом. По всем способам средние отклонения полученных значений за год составляют 41,6 % от фактических по ОДПУ. Наибольшее отклонение наблюдается при использовании формулы (1) и (3) с данными климатологии по СП, составляющие в среднем 47,8 %. Наиболее близкие результаты дает использование местного норматива потребления горячей воды и фактических данных по продолжительности отопительного периода. В этом случае среднее отклонение составляет 38 % в меньшую сторону, что нельзя считать удовлетворительным результатом. Причиной значительных отклонений может являться большое количество незарегистрированных жильцов в квартирах. По данным управляющей компании в доме проживает 214 жильцов. Расчетом было установлено, что для получения сопоставимых результатов расчетным способом с показаниями ОДПУ, количество зарегистрированных жителей должно быть 356 человек.

Из рис. 1 и 2 также следует, что результаты расчетов при использовании фактических данных продолжительности отопительного периода, местных нормативов водопотребления, и формул рассматриваемого СП, отличаются незначительно. Среднее значение разницы результатов составляет 6,95 %.

Выводы. Проведены расчеты потребления теплоты на нужды горячего водоснабжения современного многоквартирного жилого дома, расположенного в г. Воронеж, по методике СП 373.1325800.2018. На основе сравнения результатов расчета при использовании нормативов потребления, указанных в СП и местных, проектной и фактической продолжительности отопительного периода, установлена разница в результатах со средним значением 6,95 %. На основе сопоставления результатов расчета и фактических данных, полученных по общедомовому прибору учета, установлено, что результаты получаются заниженными практически в два раза.

Библиографический список

1. **Китаев, Д. Н.** Перспективные схемы использования когенерационных установок в системах теплоснабжения / Д. Н. Китаев, А. В. Золотарев, Н. С. Шестых // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – №2. – С. 26-29.
2. **Китаев, Д. Н.** Уравнения характерных значений температурных графиков / Д. Н. Китаев, Г. Н. Мартыненко, А. В. Лобода // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 3 (55). – С. 21-27.
3. **Китаев, Д. Н.** Погрешность расчета температурного графика тепловой сети при использовании показателей отопительных приборов / Д. Н. Китаев // Промышленная энергетика. – 2013. – №7. – С.34-37.
4. **Китаев, Д. Н.** Современные отопительные приборы и система теплоснабжения / Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2012. – №6. – С. 59 – 63.
5. **Чичерин, С. В.** Планирование величины нагрузок систем централизованного теплоснабжения с учетом особенностей современного теплопотребления / С. В. Чичерин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 6. – С. 103-110.
6. **Китаев, Д. Н.** Расчет фактического теплопотребления промплощадки / Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №3(8). – С.40-45.
7. **Мартыненко, Г. Н.** Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035 г. / Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – №3(51). – С. 11-21.
8. **Фролов, Ю. В.** Методы расчета теплопотребления на нужды отопления многоквартирных жилых зданий / Ю. В. Фролов, И. Ю. Фильшина, Д. О. Недобежких, В. М. Богданов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – №1(14). – С. 34-39.
9. **Китаев, Д. Н.** Расчет температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика / Д.Н. Китаев // Новости теплоснабжения. – 2012. – №10. – С. 46-48.
10. **Мелькумов, В. Н.** Энергосбережение в системах традиционного и альтернативного теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, О. А. Сотникова, В. С. Турбин, Д. Н. Китаев, Р. В. Сорокин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2004. – №2. – С. 62-66.
11. **Китаев, Д. Н.** Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д. Н. Китаев // Инженерные системы и сооружения. – 2010. – №2. – С. 72-77.
12. **Чуйкина, А. А.** Исследование связи материальной 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.
13. **Чичерин, С. В.** Коммунальная теплоснабжающая инфраструктура для обеспечения устойчивого развития городов / С. В. Чичерин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 3 (8). – С. 9-14.
14. **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.
15. **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.

Для цитирования: **Блинкова, Е. С.** Теплопотребление на нужды горячего водоснабжения жилого здания / Е. С. Блинкова, О. И. Рыжков // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3 (16). – С. 12-15

УДК 550.367

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПОРОДНОГО МАССИВА ВОКРУГ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Н. Ю. Сапрыкина, старший преподаватель кафедры инженерных систем и экологии

Россия, г. Астрахань, тел.: +7(927)661-48-6, e-mail: nadin_id@mail.ru

Санкт-Петербургский горный университет

П. В. Яковлев, д-р. техн. наук, проф. кафедры теплотехники и теплоэнергетики

Россия, г. Санкт-Петербург, тел.: +7(969)722-52-22, e-mail: yakovlev_pv@pers.spmi.ru

Постановка задачи. Опыт эксплуатации геотермальных скважин показывает изменение их технико-экономических показателей в связи с отличием реальных тепловых нагрузок от расчётных режимов работы. Широко используемые методики при проектировании геотермальных скважин предполагают стационарный режим эксплуатации скважин. Реальная работа геотермальных скважин в составе систем отопления и кондиционирования в комплексе с тепловым насосом полностью определяется климатическими условиями с сезонными изменениями температур окружающей среды. Следствием этого является изменение тепловой нагрузки на геотермальную скважину по величине и направлению теплового потока. В этих условиях геотермальная скважина является в большей степени аккумулятором тепловой энергии, чем средством получения рассеянного тепла Земли, а методика проектирования системы должна учитывать теплоёмкость грунта и поток теплоты Земли.

Результаты. В результате исследования получены температурные режимы низкопотенциальных геотермальных скважин после длительной эксплуатации при нестационарном циклическом режиме работы в составе систем отопления и кондиционирования. Впервые получены расчётные критериальные уравнения для определения температурных режимов скважин как зависимость от срока их эксплуатации. В работе рассмотрены различные условия эксплуатации геотермальных скважин: постоянный тепловой поток, циклически изменяющийся тепловой поток одного направления, циклически изменяющийся тепловой поток и изменением направления. Обработка результатов исследования позволила получить поправочные коэффициенты, учитывающие циклическое изменение тепловой нагрузки и коэффициент, учитывающий аккумулирующий эффект грунта при изменении направления теплового потока.

Выводы. Полученные уравнения предназначены для расчёта энергетической эффективности использования низкопотенциальных геотермальных скважин в системах отопления и кондиционирования.

Ключевые слова: геотермальная скважина, энергосбережение, нетрадиционные источники энергии.

Введение. Использование геотермальной теплоты Земли является одним из направлений внедрения возобновляемых источников энергии и экономии энергетических ресурсов. Высокопотенциальные геотермальные источники с температурами 300 °С и более занимают только 10 % поверхности суши и обычно это малонаселённые территории из-за высокой вулканической и сейсмической активности. Остальные 90 % суши это континентальные плиты с температурами на глубинах 50÷100 м для большей части территорий 15÷20 °С, а плотность теплового потока в среднем составляет 50 мВт/м² [1–8]. Очевидно, что при малой плотности фонового теплового потока указанные температуры сформировались как средние климатические температуры.

Применение низкопотенциальной геотермальной теплоты с температурами 15 ± 20 °С для отопления или кондиционирования возможно только при использовании тепловых насосов, требующих дополнительных затрат энергии. Учитывая, что коэффициент трансформации теплового насоса зависит от разности температур источника и потребителя, можно сделать вывод о том, что температура скважины будет определять расход энергии на единицу тепловой мощности геотермальной системы отопления и кондиционирования.

Проектирование геотермальных скважин в большинстве случаев сводится к решению задачи нестационарной теплопроводности [3, 5, 9, 10]. Рассматривая факторы, влияющие на теплообмен геотермальной скважины, можно отметить, что влияние термического сопротивления внутренней части обсадной колонны крайне мало. Максимальное сопротивление достигается при размещении трубчатого теплообменника внутри обсадной колонны, заполненной воздухом, без применения технических решений для интенсификации теплообмена, и составляет порядка $R=0,02$ ($\text{м}^2\text{°C/Вт}$) [6]. Это эквивалентно термическому сопротивлению слоя грунта толщиной примерно 2 см. Анализ влияющих факторов позволяет сделать вывод о необходимости решения, в первую очередь, внешней задачи и низкую эффективность мероприятий по интенсификации теплообмена между скважинным теплообменником и внутренней поверхностью обсадной колонны.

Опыт эксплуатации геотермальных теплоэнергетических установок показывает, что в течение первых 5 лет их экономические показатели ухудшаются, т.к. происходит изменение температурного поля грунта [3, 5]. Анализ процессов теплообмена геотермальной скважины и пласта позволяет выделить следующие причины несоответствия результатов расчётов и режимов работы реальных геотермальных скважин:

1. Большое термическое сопротивление грунта при непрерывной эксплуатации скважины приводит к накоплению теплоты.
2. Сезонные циклические изменения тепловой нагрузки.
3. Формирование в пласте тепловых волн, интерференция которых оказывает влияние на температурный режим скважины.
4. В некоторых установках реализуется реверс теплового потока при переключении с отопления на кондиционирование и обратно. Получение зависимостей для расчёта изменения температуры стенки геотермальной скважины, учитывающей казанные особенности, потребовало проведения дополнительных исследований.

1. Постановка задачи. В исследовании использовался метод численного моделирования теплообмена, дополненный проверкой адекватности полученных результатов с температурными режимами существующих скважин и сопоставлением с существующими решениями для стационарного теплового потока [11–17]. Модель скважины в грунтовом массиве принята как цилиндрическое тело, состоящее из нескольких контуров [11]. На рисунке 1 приведена модель эксплуатируемого грунта и границы обсадной колонны, которая представляет собой границы эксплуатируемой скважины. Внешняя граница контура (контур влияния скважины) $r_k = r_\infty$ определяется по результатам исследований на расстоянии, где влияние скважины на фоновое температурное поле мало. Внутренней границей является обсадная колонна скважины, через стенку которой происходит теплообмен между циркулирующим теплоносителем и грунтом. Анализ термических сопротивлений трубного пространства и грунта показал, что первое сопротивление мало относительно сопротивления грунта и им можно пренебречь.

Расчёт температурного поля пласта сводится к решению уравнению нестационарной теплопроводности [1, 2, 6, 7, 8]. В цилиндрической системе координат, характерной для вертикальной скважины, симметричной относительно оси, уравнение нестационарной теплопроводности с источниками и стоками теплоты имеет вид [1, 2, 6, 7, 8]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{q_v}{c}, \tag{1}$$

где t – температура грунта, $^{\circ}\text{C}$; τ – время, с; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; r – радиальная координата, м; x – вертикальная координата, м; q_v – источники и стоки теплоты, обусловленные тепловыми потоками Земли и тепловыделением через поверхность, $\text{Вт}/\text{м}^3$.

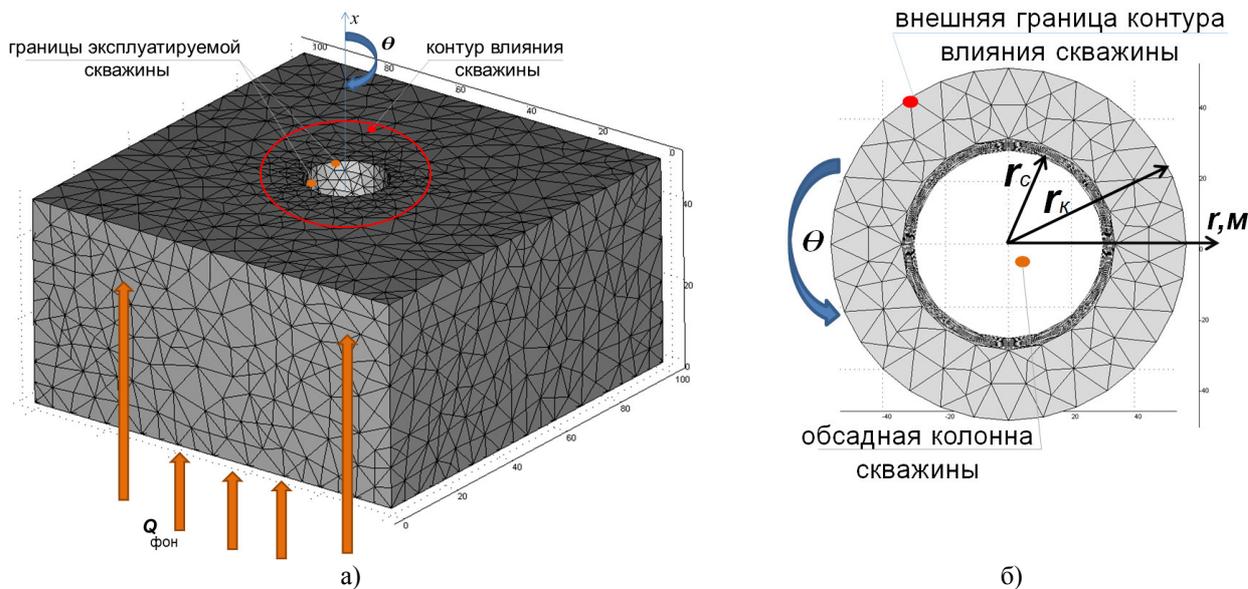


Рис.1. Расчётная модель геотермальной скважины: а) общий вид; б) вид сверху; $Q_{фон}$ – фоновый поток земли, $\text{Вт}/\text{м}^2$; x, θ, r – цилиндрическая система координат

2. Условия однозначности. При работе скважины с сезонными или технологическими изменениями нагрузки и остановками оборудования начальные условия для расчёта температуры каждого из циклов работы оборудования определяются сформировавшимся температурным полем после предшествующих циклов.

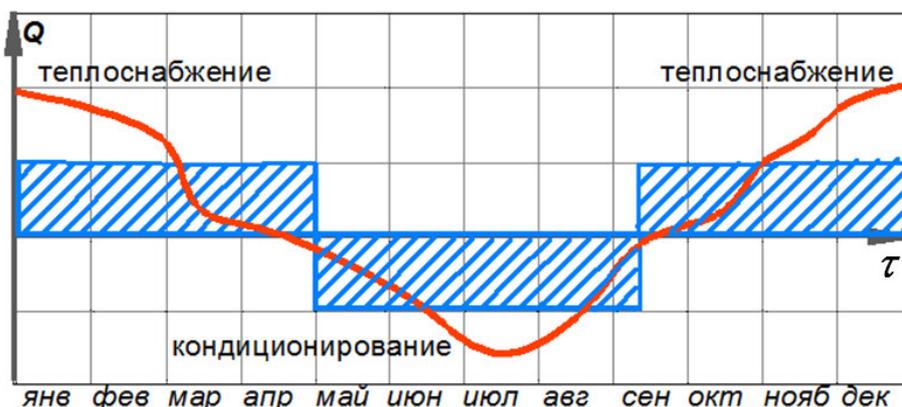


Рис. 2. Распределение тепловых нагрузок скважины в течение года

Значительная тепловая инерция пласта позволила упростить задачу, заменив нагрузочную характеристику оборудования дискретными участками с сохранением теплового баланса пласта. Например, представленную на рис. 2 нагрузочную кривую предложено заменить

тремя эквивалентными дискретными участками. Расчёты показали, что действительную характеристику работы оборудования в течение года можно заменить 3-5 эквивалентными дискретными участками с постоянной тепловой нагрузкой без существенной потери точности. На начальном этапе эксплуатации геотермальной скважины принята фоновая температура всего пласта:

$$t(r,0) = t_0, \quad (2)$$

где t_0 – фоновая температура грунта, °С.

Если геотермальная скважина используется циклически только в режиме отвода или только подвода теплоты, при отключении теплового насоса начнётся выравнивание поля температур, а начальными условиями для второго этапа будет сложное температурное поле, сформировавшееся при стационарной работе теплового насоса в течение первого расчётного периода $0 < \tau < \tau_1$:

$$t = t_0(r, \tau_1), \quad (3)$$

где τ_1 – время окончания первого этапа, с.

На момент включения теплового насоса после перерыва начальным условием для дальнейшего расчёта будет сложное температурное поле, сформировавшееся после остывания пласта в период $\tau_1 < \tau < \tau_2$:

$$t = t_0(r, \tau_2), \quad (4)$$

где τ_2 – время включения теплового насоса после перерыва, с.

Расчётная схема работы теплового насоса с изменением направления теплового потока отличается появлением этапов с изменённым знаком направления теплового потока.

Дальнейший расчёт производится аналогично с чередованием циклов включения и выключения теплового насоса. Очевидно, что температурное поле стремится к квазистационарному состоянию, при котором температура меняется циклически по установившемуся закону, который может быть аппроксимирован функцией $f(r)$ и имеет среднее расчётное для проектирования геотермальной системы значение температуры $\bar{t}(\tau)$:

$$t(r, \tau) = f(x). \quad (5)$$

В соответствии с принятыми допущениями, приняты следующие граничные условия:

– первого рода, на удалённом контуре в области отсутствия влияния скважин и температурой, равной её фоновому значению:

$$t(\infty, \tau) = t(r_k, \tau) = t_0 \Rightarrow t_{фон}, \quad (6)$$

где $t_{фон}$ – фоновая температура грунта, °С.

– второго рода на нижней образующей расчётного цилиндра – тепловой поток Земли принимаем постоянным:

$$-\lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} = q. \quad (7)$$

– второго рода на поверхности обсадной колонны скважины из условия первичности обеспечения потребителей тепловой энергией:

1. При работающем тепловом насосе:

$$-\lambda \frac{\partial t(r_c, \tau)}{\partial r} = q. \quad (8)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С.

2. При неработающем тепловом насосе:

$$\frac{\partial t(r_c, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (9)$$

На поверхности Земли формируются граничные условия 3-го рода, но, в связи с тем, что коэффициент теплоотдачи на поверхности значительно больше коэффициента теплопередачи грунта от поверхности до теплообменной части скважины, приняты граничные условия первого рода

$$t(r, \tau) = t_{\text{климат}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{климат}}$ – среднегодовая температура на поверхности Земли, °С.

Условиями расчёта определено чередование периодов включения теплового насоса с цикличностью периодов остановки, определяемыми временем года. Время достижения квазистационарного режима определялось расчётом и находится в пределах 5 лет, что также подтверждается эксплуатационными параметрами действующих систем [11–13]. Максимальные или минимальные, в зависимости от направления теплового потока, температуры стенки скважины достигаются к моменту завершения цикла, например, к окончанию отопительного сезона. В связи с этим, для определения эксплуатационных характеристик, фиксировались температуры на этот момент времени. Диапазон плотностей тепловых потоков принят по значениям действующих скважин в диапазоне от 100 до 500 Вт/м².

На рис. 3 представлены графики изменения температуры пласта вблизи геотермальной скважины на момент завершения этапов подвода теплоты и остановки теплового насоса. Как видно из кривой 1 (6 месяцев), через 6 месяцев работы теплового насоса вокруг скважины сформировалась зона повышенной температуры. После остановки насоса следующие 6 месяцев происходит выравнивание температур, которые приближаются к её фоновым значениям (кривая 2 – 1 год). Следующие циклы подвода теплоты завершаются постепенным ростом температуры до достижения квазистационарного состояния (кривые 3 и 3,5 года). Анализ формы кривых свидетельствует о волновом характере процессов, т.е. в пласте формируются тепловые волны, а постепенный рост температуры пласта объясняется интерференцией тепловых волн.

На рис. 4 представлены аналогичные графики изменения температурных полей в условиях изменения направления теплового потока, например, при чередовании работы теплового насоса на отопление и кондиционирование. Как видно из графиков, неравенство сезонных тепловых нагрузок и теплопритоков от окружающего грунта отражаются на значениях максимальных и минимальных температур.

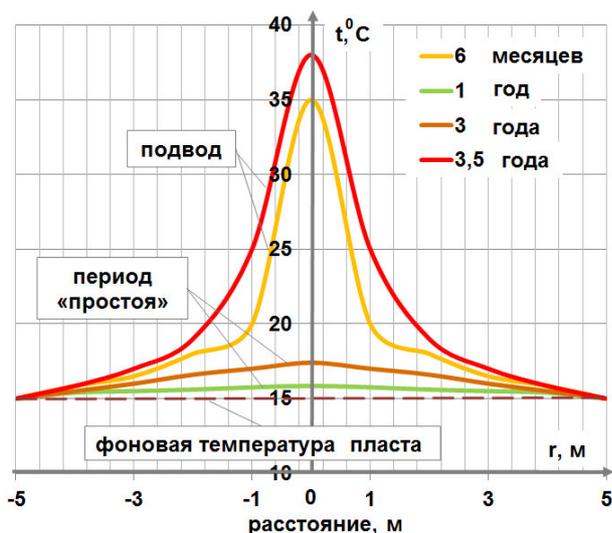


Рис. 3. Графики изменения пластовой температуры во времени при циклической работе теплового насоса без изменения направления теплового потока

Второй особенностью знакопеременного режима является меньшее влияние эффекта накопления теплоты в пласте и, как следствие, отличие температуры пласта первого и последующих циклов ближе относительно режима работы без изменения направления теплового потока.

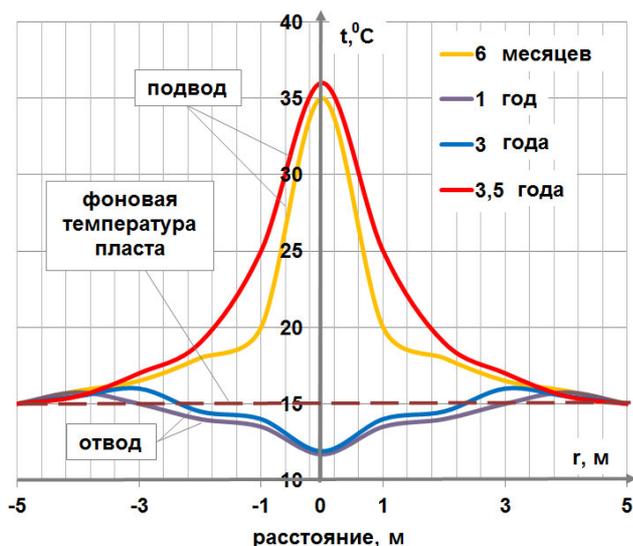


Рис.4. Графики изменения пластовой температуры во времени при циклической работе теплового насоса с изменением направления теплового потока

3. Обработка полученных результатов. Обработка полученных результатов выполнялась с использованием теории подобия в критериальном виде. В отличие от существующих решений [14], целью полученного критериального уравнения является определение температуры стенки скважины после завершения очередного цикла включения или отключения теплового насоса. Уравнение расчёта безразмерной температуры в этом случае имеет вид:

$$\Theta = \frac{t_{\text{скважины}} - \bar{t}_{\text{ос}}}{t_{\text{фон}} - t_{\text{ос}}}, \tag{11}$$

где $\bar{t}_{\text{ос}}$ — среднегодовая климатическая температура окружающей среды, °C; $t_{\text{скважины}}$ — температура стенки скважины на момент окончания рассматриваемого эксплуатируемого периода, °C; $t_{\text{фон}}$ — фоновая температура грунта, °C.

Критерий Фурье:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{r_c^2}, \quad (12)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – время, с ; r_c – радиус скважины, м .

Безразмерную величину теплового потока предложено отнести к плотности фонового теплового потока Земли:

$$Q = \frac{q_{\text{нагр}}}{q_{\text{земли}}}, \quad (13)$$

где $q_{\text{нагруз}}$ – плотность теплового потока на стенке скважины в рассматриваемый расчётный период, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $q_{\text{нагруз}}$ – плотность фонового теплового потока Земли, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Для количественной оценки степени регенерации теплоты при знакопеременном режиме работы теплового насоса нами предложено ввести коэффициент регенерации:

$$k_p = \frac{Q_{\text{подвод}}}{Q_{\text{отвод}}}, \quad (14)$$

где $Q_{\text{подвод}}$ – количество подведенного потока в тёплый период года, Вт ; $Q_{\text{отвод}}$ – количество отведенного потока в холодный период года, Вт .

Результаты расчёта безразмерной температуры пласта у скважины при различных значениях плотности теплового потока представлены на рис. 5. Очевидно, что увеличение плотности теплового потока, соответствующее увеличению тепловой нагрузки на скважину приводит к росту температуры пласта. Вместе с этим, выявлены определённые закономерности изменения температуры, коррелирующие с известными особенностями нестационарного теплообмена. Интенсивный рост температуры характерен для значений критерия $Fo < 12000$ с дальнейшей стабилизацией температуры. Этому значению Fo соответствует $Fo = 15000$. Полученная серия кривых с достаточной степенью точности аппроксимируется полиномом 2 степени, что соответствует способу представления известных решений нестационарной теплопроводности.

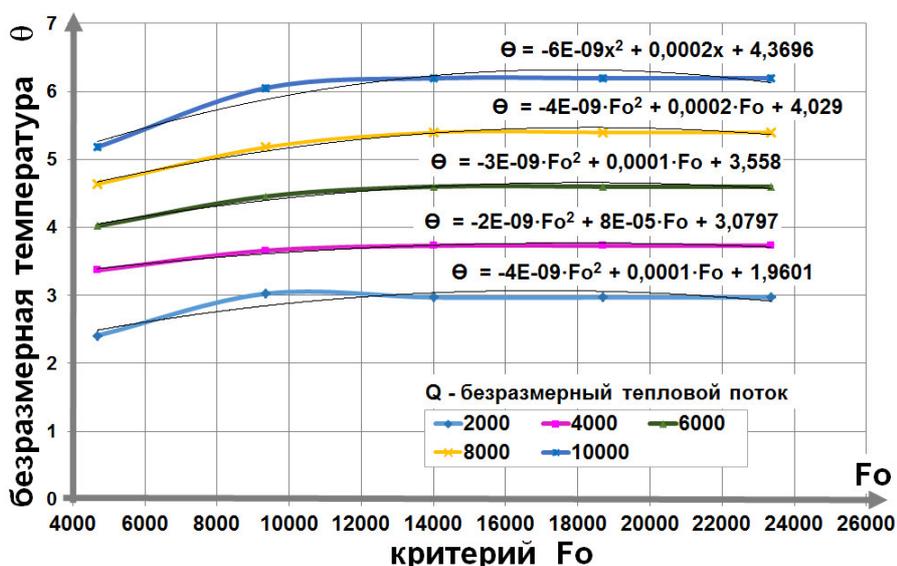


Рис. 5. Зависимость безразмерной температуры θ (9) от критерия Fo (10) при различных значениях безразмерного теплового потока Q (11)

Используя методы статистической обработки, на основе данных, представленных на рис. 5, получено следующее критериальное уравнение для расчёта безразмерной температуры скважины, работающей в циклическом режиме сезонной эксплуатации системы теплоснабжения:

$$\theta = -5 \cdot 10^{-9} \cdot Q \cdot Fo^2 + 2 \cdot 10^{-8} Fo \cdot Q + 0,0003 \cdot Q + 5,1. \quad (15)$$

Изменение направления теплового потока, сопровождающее переключение режима работы теплового насоса с отопления на кондиционирование изменяет температурный режим пласта, так как в большей степени реализует аккумулирующие возможности грунта. При этом происходит регенерация теплоты поочерёдным нагревом и охлаждением пласта. Очевидно, что после цикла отвода теплоты (1 год, 2 года) пласт будет находиться в переохлаждённом состоянии, т.е. для последующего сброса теплоты в пласт требуются минимальные затраты энергии, что повышает энергетическую эффективность установки. На рис. 6 представлены результаты расчёта температуры скважины после цикла отвода теплоты при различных значениях коэффициента регенерации.

Из выявленных особенностей следует отметить, что наилучшие технико-экономические показатели системы достигаются при коэффициенте регенерации $k_p = 1$.

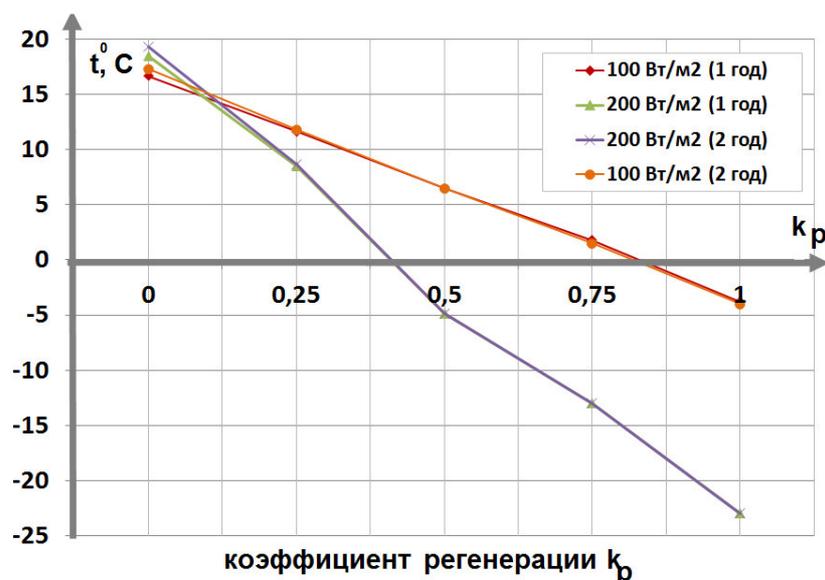


Рис. 6. Зависимость температуры пласта от коэффициента регенерации (k_p)

Последовательное реверсирование теплового насоса приводит к появлению системы тепловых волн, которые приводят к изменениям температуры скважины и влияют на технико-экономические параметры системы. Результаты исследования позволили прийти к выводу о том, что ежегодное падение грунтовой температуры будет постепенно сокращаться в условиях регенерации. Это говорит о том, что процесс регенерации позволяет компенсировать величины тепловой нагрузки. При этом объем грунтового массива, подверженного изменению температурного режима, будет расширяться с каждым годом. Обработка полученных данных позволила предложить уравнение (14), учитывающее влияние регенерации теплоты.

$$\theta = -5 \cdot 10^{-9} \cdot Q \cdot Fo^2 + 2 \cdot 10^{-8} Fo \cdot Q + 0,0003 \cdot Q + 5,1(0,0004 \cdot k_p + 0,947). \quad (16)$$

Заметное изменение эксплуатационных характеристик геотермальной скважины в зависимости от графика тепловой нагрузки и наблюдается в пределах 2-3 лет от начала её эксплуатации. На рис. 7 и 8 представлены графики изменения температуры в пласте при циклическом сезонном включении теплового насоса через 2,5 (рис. 7) и 3,5 года (рис. 8). Как видно из представленных данных, сформировавшиеся температурные поля практически совпадают. Отклонения температур от фоновых значений наблюдаются в пределах расстояния 40-50 м от оси скважины.

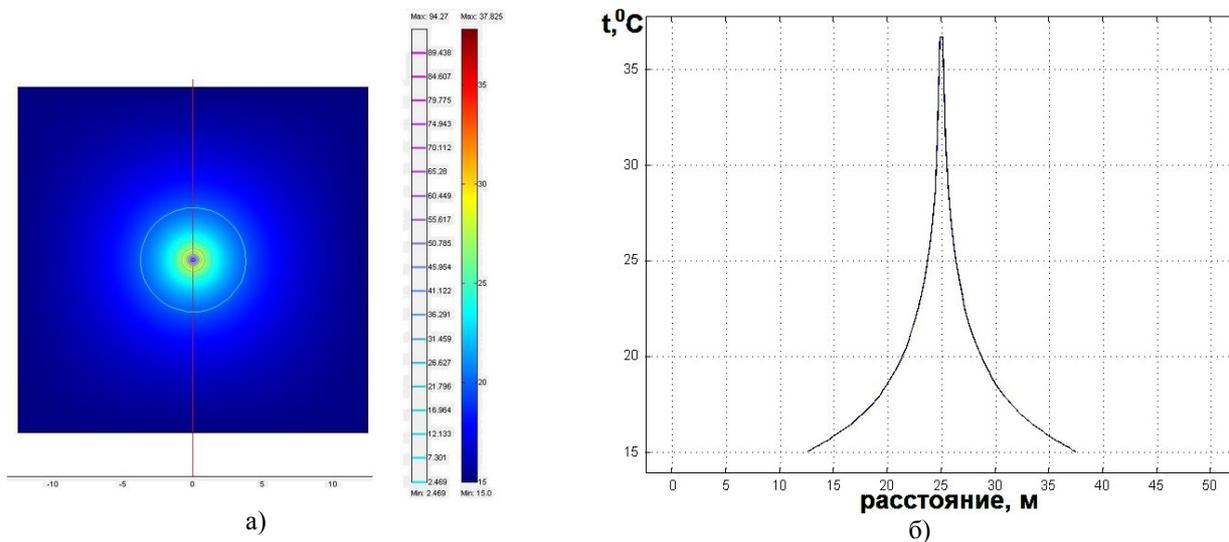


Рис. 7. Температурное поле пласта через 2,5 года эксплуатации геотермальной скважины: а) температурное поле; б) график изменения температуры

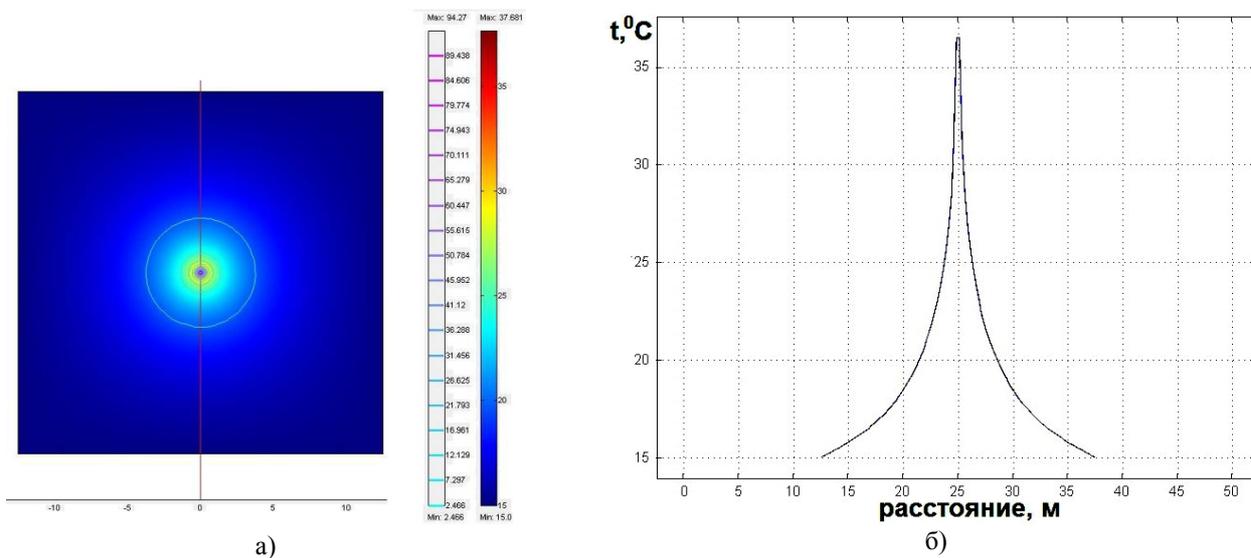


Рис. 8. Температурное поле пласта через 3,5 года эксплуатации геотермальной скважины: а) температурное поле; б) график изменения температуры

Выполненные расчеты выполнены с учётом влияние фонового теплового потока и притока (стока) тепла через поверхность земли. Расчёты не выявили существенного влияния фонового теплового потока ввиду его незначительности.

Выводы. Исследования показали, что в результате длительной эксплуатации геотермальной скважины в циклическом режиме тепловой нагрузки, происходят изменения температурного поля пласта вокруг скважины с эффектом интерференции тепловых волн, приводящие к аккумуляции теплоты. Изменения температурного поля грунта наблюдаются в пространстве вокруг геотермальной скважины в пределах радиуса 30-50 м. Стабилизация температурного поля происходит в течение 3-4 лет, в зависимости от параметров грунта и режимов работы установки. В качестве существенных особенностей можно отметить циклический характер работы теплонасосной установки, обусловленный сезонностью нагрузки и возможность её работы в знакопеременном режиме подвода и отвода теплоты.

На основании обработки полученных результатов получены критериальные уравнения для расчёта безразмерной температуры скважины на момент завершения цикла подвода или отвода теплоты, как соответствующего наибольшей разности температур теплового насоса. Полученные уравнения позволяют уточнить расчёт технико-экономических показателей с учётом длительности эксплуатации геотермальной скважины и режима её эксплуатации.

Библиографический список

1. **Богуславский, Э. И.** Тепломассообмен в приповерхностных геотермальных системах / Э. И. Богуславский, Н. Н. Смиронова, С. В. Егоров // Записки Горного института. – 2010. – Т. 187. – С. 24-30.
2. **Богуславский, Э. И.** Технология и экономика освоения приповерхностных геотермальных ресурсов / Э. И. Богуславский, В. В. Фицак // Записки Горного института. – 2017. – Т. 224. – С. 189-198.
3. **Васильев, Г. П.** Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли: Дис. ... д-ра тех. наук / Московский государственный строительный университет. М. – 2006. – С. 423.
4. Глобальный каталог данных по тепловому потоку [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения по Физике Твёрдой Земли, поступающих в Мировой центр данных по физике твердой Земли. Электрон. дан. – М., [2018]. – Режим доступа: http://www.wdcb.ru/sep/heat_flow/hf_cat_gl.ru.html.
5. **Никитин, А. А.** Расчет геотермального теплообменника в программе ELCUT/ А. А. Никитин, В. А. Крылов, А. С. Любимцев // Сборник трудов. II Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». СПб.: НИУ ИТМО. – 2012. – С. 191-196.
6. **Кутателадзе, С. С.** Основы теории теплообмена / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т теплофизики. – 4-е изд., доп. Новосибирск: Наука. – 1970. – С. 658.
7. **Парийский, Ю. М.** Особенности технологии освоения геотермальных скважин / Ю. М. Парийский // Записки Горного института. – 1993. – Т. 136. – С. 54-60.
8. **Парийский, Ю. М.** Анализ температурного режима геотермальных скважин / Ю. М. Парийский, Н. А. Гаврилов // Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова. – 1982. – Т. 93. – С. 51-58.
9. **Руденко, Н. Н.** Выбор граничных условий для моделирования температурного поля грунта / Н. Н. Руденко, И. В. Бондарев // Ростов н/Д.: Инженерный вестник Дона. – 2013. – №4. – С. 256-257
10. **Руденко, Н. Н.** Особенности прогнозирования эффективности работы теплового насоса / Руденко Н. Н. // Ростов н/Д.: Инженерный вестник Дона. – 2012. – №4-1(22). – С. 158-159.
11. **Сапрыкина, Н. Ю.** Моделирование температурного поля грунта при многолетней эксплуатации низкопотенциальных геотермальных скважин / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Сборник трудов Шестого Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников «Потенциал интеллектуально одаренной молодежи развитию науки и образования» (25-28 апреля 2017 г., Астрахань) // Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ». – 2017. – С. 29-33.
12. **Al-Ajmi, F.** The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate/ F. Al-Ajmi, D. L. Loveday, V. I. Hanby // Building and Environment, 41, 2006. – p. 235-244.
13. **Changsheng, G.** Numerical methods for temperature field about random heat source model of ground source heat pump / G. Changsheng, Y. Shaopan // American Journal of Industrial Engineering. – 2013. – V 1, No. 2. p. 20-27.
14. **Cui, P.** Heat transfer analysis of pile geothermal heat exchangers with spiral coils / P. Cui, X. Li, Y. Man, Z. Fang // Applied Energy 88. – 2011. – p. 4113-4119.

Для цитирования: **Сапрыкина, Н. Ю.** Совершенствование методики прогнозирования температурных режимов природного массива вокруг низкопотенциальной геотермальной скважины / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3 (16). – С. 16-25.

УДК 621.182

ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ В КОТЕЛЬНОЙ

Г. Н. Мартыненко, Н. Е. Сафонов, Д. Д. Щелкановцев, Е. А. Серегина

*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**Н. Е. Сафонов, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(930)400-76-75, e-mail: nsafonov96@mail.ru**Д. Д. Щелкановцев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)466-81-25, e-mail: dumbasik777@mail.ru**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*

Постановка задачи. Оптимизация процессов работы котлоагрегатов является важной задачей при проектировании котельных. В ходе работы на котлах образуется накипь, которая выводит из строя сам агрегат или его составные части. Вследствие этого цель исследования состояла в выборе оптимальных методов умягчения воды в котельной.

Результаты. Рассмотрен процесс оптимизации котельного оборудования. Проведен сравнительный анализ затрат на эксплуатацию водоочистных устройств.

Выводы. Путем расчета стоимостных показателей получено экономическое обоснование использования комплексонов, исходя из их выгодности.

Ключевые слова: котельная, установка комплексонов, катионитовый фильтр, оптимизация.

Введение. Одной из основных задач проектирования котельных является оптимизация процессов работы котлоагрегатов и их составных частей. Образование накипи на поверхности теплообменников и в трубопроводах, коррозия металлических конструкций котла – все это приводит к ухудшению работы котельной и к поломке ее комплектующих.

Чтобы избежать ситуаций, когда требуется замена котла или его отдельных деталей и трубопроводов применяют средства для умягчения воды при помощи различных химических реагентов и фильтров по очистке воды от накипи.

Довольно широкое распространение получили сульфоугольные или катионитовые фильтры, испарительное опреснение воды, подкисление или фосфатирование. Но данные способы очень ограничены по области воздействия, применяются в строго определенных условиях и на определенном оборудовании, что затрудняет эксплуатацию. Так же некоторое фильтры, например, катионитовые, довольно габаритные, что так же препятствует их установке в некоторых зданиях и сооружениях.

Все эти ограничения не способствуют оптимизации котельного оборудования. Для улучшения качества теплоносителя все активнее на протяжении последних лет стали применять комплексные технологии очистки воды.

Комплексонами называют органические вещества (например, иминодиуксусная кислота, этилендиаминтетрауксусная кислота, оксиэтилидендифосфоновая кислота с цинковым комплексом и другие), образующие комплексные соединения (комплексы) с ионами металлов.

Главным свойством комплексонов является препятствие кристаллизации солей жёсткости, что обусловлено способностью адсорбироваться на поверхности зародышей кристаллизации солей жёсткости, которые блокируют центры роста кристаллов.

Комплексоны способны физически сорбироваться, встраиваясь в двойной электрический слой физико-химически, а также адсорбироваться на поверхности металла с образованием поверхностных адсорбционных комплексов. Следствием этого является снижение скорости коррозии металла [1].

В малых количествах комплексоны разрушают отложения накипи и продуктов коррозии, благодаря образованию дефектов кристаллов в связи с процессами переноса на границах кристаллов. Это объясняется не химическими процессами комплексообразования, а перестройкой кристаллической решётки карбоната кальция из тригональной (кальцит) в ромбическую (арагонит), а также эффектом Ребиндера - расклинивающим действием молекул, адсорбированных в микро- и мезопорах отложений.

Результатом данных процессов является переход осадка в коллоидный раствор или взвесь, которая удаляется циркулирующей водой.

Комплексоны позволяют:

- исключить возможность образования накипи на поверхностях теплопередачи и отложений в трубопроводах;
- предотвратить или значительно замедлить коррозию металлических частей теплотехнического оборудования;
- постепенно, не нарушая режима работы оборудования, удалить имеющуюся накипь и продукты коррозии.

Результат обработки воды комплексоном на примере трубы ГВС представлен на рис. 1.



Рис. 1. Труба ГВС с отложениями накипи до (слева) и после (справа) обработки воды комплексоном

1. История появления комплексонов. В 1995 году в Цюрихском университете впервые профессором Г. Шварценбахом был предложен термин «комплексон». Комплексон относится к органическим лигандам группы полиаминополикарбоновых кислот. Лиганды – это понятие из химии, обозначающее нейтральные молекулы или анионы, которые концентрируются вокруг центрального атома.

Получение первых комплексонов относится к концу 19 века. В 20-30 годы нашего времени возможности их синтеза совершенствуются, это связано с тем, что комплексоны нашли себе практическое применение. Так, германская фирма «I. G. Farben Industry» в 1930 году начала использовать его в промышленном производстве и на мировой рынок были выпущены два комплексона для умягчения воды. На рынке комплексоны под общеизвестным названием «трилон» (трилон А, трилон Б). Профессор Шварценбах в 1940-1950-х годах в своей лаборатории проводит ряд исследований, позволяющие расширить применение комплексонов во всесторонних областях науки и техники. В 1940 - 1980 годы происходит мощный рост производства комплексонов, их выпускают более чем 50 крупнейших фирм и компаний разных стран: США, Японии, Швейцарии, Германии, Венгрии и т. д. Богатый ассортимент ведущих фирм на данный момент составляет более 200 позиций.

Работы по получению комплексонов, их синтезу, изучению свойств и применение в России начались в 1953 году в институте химических реактивов и особо чистых химических веществ (город Москва). Достижения принадлежат профессорам Дятловой Н. М. и Темкиной В. Я. Впоследствии они были представлены к лауреатам Государственной премии СССР [2].

В настоящее время комплексоны и их соединения продолжают интенсивно изучать во всех промышленно развитых странах. Отечественные работы занимают одно из ведущих мест.

2. Строение комплексонов. Координационная теория Вернера гласит, что комплексное соединение состоит из центрального атома (иона; обычно иона металла) и координированных, то есть расположенных вокруг него, молекул или ионов, называемых лигандами.

Число атомов или групп этих атомов, связанных с центральным ионом, называют координационным числом комплекса, а количество координационных мест, которые занимает лиганд, – его координационной емкостью, или дентатностью (от лат. *dentatus* – обладающий зубами, зубчатый). Каждое координационное место, занимаемое лигандом, это его «зуб», которым он скрепляется с центральным атомом. Одно из координационных мест занимает «однозубчатый», или монодентатный, лиганд, бидентатный лиганд – занимает два координационных места. Интересной особенностью комплексона как лиганда является его мульти-, или полидентатность. Молекула комплексона содержит несколько функциональных электронодонорных групп. Часть этих групп имеет кислотную, а часть – основную природу, как это можно заметить у молекулы простейшего тридентатного комплексона – иминодиуксусной кислоты [3].

При увеличении числа электронодонорных групп увеличивается и дентатность лиганда до четырех (нитрилтриуксусная кислота, НТА), шести (этилендиаминтетрауксусная кислота, ЭДТА) и более. При воздействии иона металла полидентатный комплексон крепко захватывает ион металла своими «зубцами», как это можно увидеть на примере комплексона иминодиуксусной кислоты. Еще прочнее захватывает ион металла гексадентатная ЭДТА.

Создавшиеся соединения ионов металлов с комплексонами (комплексонаты) содержат в своей структуре несколько так называемых хелатных циклов. Термин хелат, произошедший от греческого слова клешня, принят для обозначения циклических структур, которые образуются в результате присоединения катиона к двум или более донорным атомам, принадлежащим одной молекуле комплексона. В соответствии с термином хелат комплексон следует представлять в виде какого-то краба, который своими полидентатными клешнями прочно захватывает ион металла, и чем больше клешней, тем прочнее захват. Если обратиться к буквальному переводу слова *chelate* в научной литературе, то буквально недавно для обозначения комплексных соединений с циклическими структурами пользовались понятием «клешневидные соединения» [4].

Замыкание циклов при образовании соединений является важным фактором, обуславливающим высокую устойчивость комплексонатов. Л. А. Чугаев в 1996 году сформулировал правило циклов еще за долго до появления самих комплексонов. Правило циклов имеет общий характер и проявляется в различных реакциях. Придерживаясь этому правилу, можно сказать, что комплексные соединения, содержащие циклические группировки, отличаются более высокой прочностью, чем соединения, не содержащие циклов, а наибольшей устойчивостью обладают комплексы с пяти- и шестичленными циклами.

Для определения констант равновесия были исследованы различные экспериментальные методы. В научной литературе описано свыше 30 таких методов, уже подтвержденные практическим применением. Наиболее широко в химии комплексных соединений с комплексонами для этой цели используется потенциометрический (рН-метрический) метод, в принципе может быть применен любой метод, позволяющий судить о равновесной концентрации хотя бы одного участника реакции по экспериментально измеренному свойству или характеристике раствора.

3. Циркуляционная схема работы устройства водоподготовки. Схема устройства установки представлена на рис. 2.

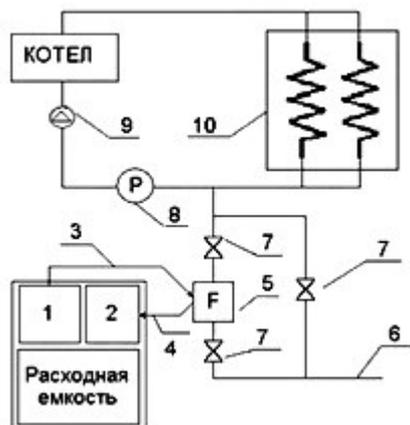


Рис.2. Циркуляционная схема работы устройства водоподготовки комплексон: 1 – насос дозатор; 2 – блок управления; 3 – линия впрыска реагента; 4 – линия сигналов от расходомерного устройства; 5 – расходомерное устройство и узел впрыска; 6 – магистраль подпитки; 7 – запорная арматура; 8 – датчик давления; 9 – циркуляционный насос; 10 – потребитель

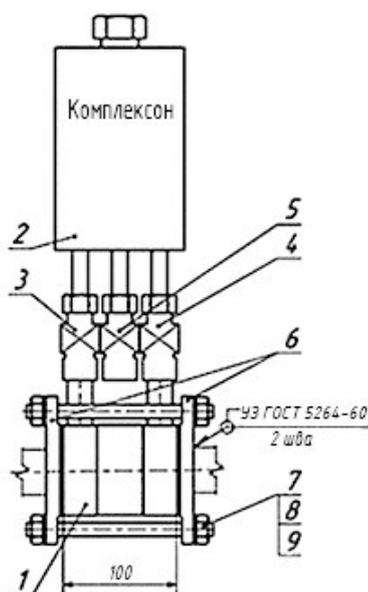


Рис. 3. Схема системы комплексон: 1 – секционное сужающее устройство; 2 – резервуар для реагента; 3,4 – краны; 5 – дренажный кран; 6 – фланцы; 7 – шпильки; 8 – шайбы; 9 – гайки

4. Преимущества комплексонных технологий перед другими видами водоподготовки. По сравнению с другими технологиями водоподготовки (умягчением воды на сульфугольных или катионитовых фильтрах, испарительным опреснением воды, подкислением или фосфатированием) обработка воды комплексонами имеет целый ряд преимуществ:

- очистка котельного оборудования от накипи и коррозии, а также при кратковременных нарушениях водно-химического режима «на ходу», без нарушения эксплуатационного режима оборудования;

- трубопроводы и поверхности теплопередачи постоянно находятся в чистоте, что увеличивает эффективность котельной установки и ее комплектующих;

- совмещаются и применяются с традиционными фильтрами умягчения воды, повышая при этом эффективность борьбы с коррозией и накипью;

- меньшие затраты труда рабочих, материалов и энергии по сравнению с другими видами водообработки (исключаются затраты на подогрев воды, поваренную соль и сброс сточных вод);

– снижают загрязнение окружающей среды.

Оборудование негромоздкое, требующее меньшие затраты расходных материалов [6].

В таблице приводится сравнение затрат на обработку воды (расход 5 м³/час) для котельной в течение одного отопительного сезона методами обработки комплексонами и умягчения катионитными фильтрами (значения действительны на март 2019 года).

Таблица

Сравнительные технико-экономические характеристики

Статьи затрат	Единица измерения	Цена, руб	Комплексонная технология		Технология ионного обмена	
			Количество	Сумма	Количество	Сумма
Материалы						
Комплексон	кг	122,3	66	8071,8		
Соль поваренная	кг	1,13			29200	32966,00
Вода на собственные нужды	м ³	22,58			10950	247251,00
Энергия						
Тепловая	ГКал	451,56			220	99343,2
Электрическая	кВт·ч	1,69			18250	30842,5
Канализационные стоки,	м ³	22,58	50	1129,00	10950	247251,00
Зарплата операторов	в год за 1 ставку	22500,00	0,25	5625,00	4	90000,00
Начисления на зарплату	% от зарплаты		34,8 %	1964,3	34,8 %	31428,84
Кислотная промывка котла		56445,00				56445,00
Итого				16790,1		835528,54

Выводы. Экономический эффект от использования комплексонной технологии водоподготовки взамен умягчения воды катионитными фильтрами составит 835528,54–16790,1 = 818738,44 руб. за отопительный сезон. Исходя из выполненных расчётов, сведенных в таблицу 1, можно сделать вывод о том, что экономическая выгода при эксплуатации установки комплексонных в течение одного отопительного сезона равна 98 % по сравнению с катионитным фильтром.

Библиографический список

1. Фрог, Б. Н. Водоподготовка: учебное пособие / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М.: Издательство МГУ, 1996. – 680 с.
2. Дятлова, Н. М. Комплексоны и комплексонаты / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина. – М.: Химия, 1988. – 544 с.
3. Громогласов, А. А. Водоподготовка. Процессы и аппараты / А. А. Громогласов. – М.: Атомиздат, 1977. – 352 с.
4. Очков, В. Ф. Водочистка. Средства и методы. / В. Ф. Очков. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2006. – 80 с.

Для цитирования: Мартыненко, Г. Н. Оптимальные методы умягчения воды в котельной / Г. Н. Мартыненко, Н. Е. Сафонов, Д. Д. Щелкановцев, Е. А. Серегина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3 (16). – С.26-30.

УДК 69.05:658.5.012.011.56

ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ТИПОВЫХ СЕРИЙ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Н. О. Ермаков, С. Г. Тульская

Воронежский государственный технический университет

Н. О. Ермаков, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)212-65-16, e-mail: nikita1594@mail.ru

С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru

Постановка задачи. Здания жилищного сектора характеризуются высокой степенью износа, требуют капитального ремонта и реконструкции. Необходимо решить задачу снижения затрат, на проектирование, строительство и эксплуатацию, с применением технологий информационного моделирования.

Результаты и выводы. Накопленный опыт российской и зарубежной практикой внедрения информационного моделирования в существующие дома позволяет сказать, что отслеживать полный жизненный цикл зданий и сооружений, выгодно.

Ключевые слова: информационное моделирование, энергосбережение, энергоэффективность, тепловая энергия, экономия.

Введение. В 2018 году, в целях модернизации строительной отрасли и повышения качества строительства, президент РФ поручил премьер-министру РФ Дмитрию Медведеву, обеспечить переход к системе управления жизненным циклом объектов капитального строительства путем внедрения технологий информационного моделирования (BIM-технологии). К настоящему времени завершена разработка большинства базовых документов, обеспечивающих внедрение информационного моделирования, в том числе утверждены несколько сводов правил. Однако, на сегодняшний день в России BIM используют очень маленькое число компаний, в основном, в крупных городах или мегапроектах, таких как, «Лахта-центр» в Санкт-Петербурге. Сложность перехода, заключается в необходимости значительных затрат на внедрение цифровых платформ и сложностью обучения сотрудников. Но при внедрении технологий информационного моделирования, мы сможем отслеживать полный жизненный цикл зданий и сооружений, что значительно уменьшит затраты, на проектирование, строительство и эксплуатацию [1–8].

1. Основы информационного моделирования (BIM). BIM технология информационного моделирования объектов (Building Information Modeling) является эволюцией общепринятой сегодня системы автоматизированного проектирования (САПР). Основным отличием которой, является наличие у модели базы данных, содержащей подробную информацию о технологических, технических, архитектурных, инженерно-строительных, сметных, экономических характеристиках объекта. При необходимости, модель может дополняться юридической, эксплуатационной, экологической и другой информацией.

Можно выделить базовые принципы современного подхода в разработке проектной документации, с помощью BIM:

- проектирование объекта в трехмерном пространстве;
- автоматическая выдача чертежей и спецификаций, видов, разрезов;
- наличие в модели всех проектных данных объекта;

- возможность моделирования процесса строительства с привязкой к календарному графику и бюджету;
- интеллектуальная параметризация, исключение ошибок;
- одновременная разработка разных разделов и возможность подбора технических решений в едином пространстве;
- наличие данных для возможности реконструкции, технической модернизации и сноса зданий и сооружений по завершении их жизненного цикла.

Владельцы зданий и сооружений, объективным образом заинтересованы в комплексном и современном подходе к решению проблем эксплуатации с помощью BIM технологий. Поскольку именно на владельцев ложиться задача правильного распределения денежных средств, как сейчас, так и в будущем на обслуживание зданий и сооружений. Как показывает зарубежная практика, как только собственник осознает все преимущества информационного моделирования, современным проектированием начинают овладевать все остальные участвующие в полном жизненном цикле здания и сооружения.

2. Реконструкция здания при отсутствии необходимой документации. В эпоху индустриального развития СССР в стране началось активное строительство жилых домов секционного типа для посемейного заселения квартир. Проектными институтами были разработаны специально упрощенные проекты жилья массовых серий – панельные дома серии 1-464 и кирпичные дома серии 1-507. Общая площадь жилищного фонда России, размещенного в 4-5 этажных домах первых массовых серий составляет более 250,000,000 м². В домах серии 1-464, являющейся одной из самых распространенных, она составляет более 60467,7 тыс. м² [1].

Таким образом, в данной области сложились определенные проблемы, которые требуют внимания к себе и скорейшего их решения для возможности восстановления и сохранения жилого фонда первых массовых серий и создания комфортных условий жилой среды. Для их решения необходима, проектная и техническая документация, которая в большинстве случаев частично или полностью отсутствует.

При реконструкции жилого дома проектная документация, расположенного в г. Воронеж, ул. Домостроителей, д. 39 (рис.1) выполнена только частично. Для выполнения поставленной задачи были произведены следующие подготовительные работы:

- первичное исследование жилого дома, в ходе которого были установлены основные характеристики объекта.
- техническое обследование, которое выявило основные недостатки и составлены карты дефектов;
- тепловизионное обследование, с применением специального оборудования.



Рис. 1. Модель жилого дома до реконструкции [1]

Собранная информация помогла выполнить расчеты, для реконструкции и повышения класса энергоэффективности здания [9–19].

Расчет удельной теплозащитной характеристики здания показал, что существующие конструкции наружных стен не отвечают современным требованиям норм по сопротивлению теплопередаче, паропрооницанию и воздухопроницанию

$$k_{об} = \frac{\sum n_i \cdot A_i / R_{oi}^{np}}{V_{ом}}, \quad (1)$$

где $V_{ом}$ – отапливаемый объем здания, m^3 ; R_{oi}^{np} – приведенное сопротивление теплопередаче, $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$; A_i – площадь, m^2 ; n_i – коэффициент [2].

Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания установил, что его удельная теплозащитная характеристика больше нормируемой величины, следовательно, оболочка не удовлетворяет нормативным требованиям

$$q_{ом}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot \nu \cdot \zeta] \cdot (1 - \xi) \cdot \beta_n, \quad (2)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$; $k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$; $k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$; $k_{рад}$ – удельная характеристика тепlopоступлений здание от солнечной радиации, $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$; ζ – коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление; β_n – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения; ν – коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; ξ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления [3].

Расчёт тепловой устойчивости, ограждающей конструкции зданий в теплый период года свидетельствует о том, что настоящие конструкции советуют нормам

$$\nu = 0,9 \cdot e^{\frac{D \sqrt{2} (S_1 + \alpha_B) (\alpha_H + \gamma_1)}{(S_1 + \gamma_1) \alpha_H}}, \quad (3)$$

где S_1 – площадь, m^2 ; α_B, α_B – коэффициент теплоотдачи наружной (внутренней) поверхности ограждающей конструкции по летним условиям; γ_1 – коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя; D – тепловая инерция [2].

Для выполнения данного обследования и расчетов понадобилось 6 месяцев, в то время при наличии модели здания (рис. 2), как показывает практика, можно было бы этот срок сократить до 1 месяца и получить актуальную информацию.

Проводимая «паспортизация» зданий очень трудоемка и малоэффективна, поскольку требует по прошествии времени ручного перебора и уточнения всей собранной ранее информации.



Рис. 2. Модель жилого дома после реконструкции [1]

3. Преимущества внедрение BIM при реконструкции, капитальном ремонте и эксплуатации. Совершенно логично было бы заменить бумажные паспорта зданий на их информационные модели. Внедрение BIM в ЖКХ потребует больших вложений: создание компьютерных рабочих мест, подготовку сотрудников и, разработку информационных моделей, для каждого здания и сооружения. Ввиду того, что в России распространено типовое домостроение, ежегодно выделяются средства на капитальный ремонт зданий, постепенный перевод на BIM возможен.

Имея цифровую модель здания, можно сразу иметь представление, сколько лампочек понадобится заменить, какие задвижки, манометры неисправны, какое количество метров инженерных сетей и штукатурки требуется для капитального ремонта здания и в какой срок будут осуществлены работы.

В 2008 года в городе Новосибирск, создали модель города, вместе с инженерными сетями и метрополитеном, находящимся под городом. Создали информационные модели и для большинства домов. Так теперь, каждый житель города может не выходя из дома, не имея доступ к соответствующей документации и достаточный уровень квалификации сказать, что для ремонта инженерных сетей его дома понадобится 1000 метров трубопровода, а не 2000 метров, как заявляет подрядчик. Экономия жильцов и собственников, в рамках страны, области или отдельного дома при внедрении информационного моделирования и контроле, на основе мирового опыта и оценок наших специалистов, может дать до 30 % экономии средств, выделяемых на цели капитального ремонта жилого фонда страны.

Вывод. Информационное моделирование зданий и сооружений – мощный инструмент для реализации ремонтно-реконструктивных мероприятий, совершенствуются планировочные решения жилых домов, улучшается их внешний облик и инженерное обустройство, повышается надежность, огне-, тепло- и шумозащита, обновляется благоустройство жилых районов и кварталов. При этом не только устраняются последствия физического и морального износа жилищного фонда, но и улучшаются его основные технико-экономические показатели, гарантируя сокращение сроков, необходимого оборудования, затрат при эксплуатации, а также осуществление прямого контроля со стороны собственников.

Библиографический список

1. Ермаков, Н. О. Обеспечение энергоэффективности при реконструкции жилых домов первых массовых серий / Н. О. Ермаков, М. В. Новиков // Молодой ученый. – 2018. – №21. – С. 40-44.
2. СП 50.12220.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23.02.2003. – М. : изво стандартов, 2012. – 100 с.

3. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция снп 41-01-2003. – М. : из-во стандартов, 2012. – 67 с.
4. Кокорин, О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О. Я. Кокорин. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2003. – 272 с.
5. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для неэнергетических специальностей вузов / В. В. Нащокин. – М.: Высш. шк., 1975. – 496 с.
6. Парфентьева, Н. А. Математическое моделирование теплового режима конструкций при фазовых переходах / Н. А. Парфентьева // Вестник МГСУ. – 2011. – № 4. – С. 340-345.
7. Сачивка, В. Д. Модели и методы выбора оптимального способа прокладки подземных инженерных коммуникаций в условиях городской застройки / В. Д. Сачивка // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 12. – С. 359-360.
8. 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.
9. Мелькумов, В. Н. Энергоаудит как основа планирования санации объектов социальной сферы / В. Н. Мелькумов, Р. Л. Кочетов // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4 (36). – С. 74-83.
10. Казначеевская, Т. В. Внедрение технологии информационного моделирования: проблемы и пути их решения / Т. В. Казначеевская, В. А. Лебедев // Молодой ученый. – 2018. – №19. – С. 103-105.
11. Талапов, В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
12. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В. В. Талапов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
13. Кувшинов, Ю. Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата в помещениях / Ю. Я. Кувшинов. – М.: АСВ, 2004. – 104 с.
14. Вологдин, С. В. Математическая модель оптимизации тепловых потоков между зданиями в многоконтурной тепловой сети с целью снижения дисбаланса системы теплоснабжения за счет регулирования сопел элеваторных узлов / С. В. Вологдин // В мире научных открытий. – 2011. – № 12 (24). – С. 194-204.
12. Кушев, Л. А. Применение теплообменных аппаратов в системах ЖКХ Белгородской области / Л. А. Кушев, Н. Ю. Никулин, Ю. Г. Овсянников // Научно-технический проблемы совершенствования и развития систем газотеплоснабжения: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2018. – С. 111-116.
13. Панов, М. Я. Универсальная математическая модель потокораспределения гидравлических сетей и условия ее совместимости с оптимизационными задачами / М. Я. Панов, И. С. Квасов, А. М. Курганов // Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 11-12. – С. 91-95.
14. Мелькумов, В. Н. Взаимодействие вентиляционных воздушных потоков с конвективными потоками от источников теплоты / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 1. – С. 63-70.
15. Кузнецов, И. С. Поиск маршрута прокладки инженерных сетей с наименьшей стоимостью / И. С. Кузнецов, Р. Н. Кузнецов, А. А. Горских // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2009. – № 4 (16). – С. 31-38.
16. Сотникова, О. А. Моделирование распределения трехмерных стационарных воздушных потоков в помещении / О. А. Сотникова, И. С. Кузнецов, Л. Ю. Гусева // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2007. – Т. 3, № 6. – С. 121-123.
17. Сотникова, О. А. Экологическая безопасность вентилируемых помещений ресторанных комплексов / О. А. Сотникова, С. Г. Булыгина // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 154-163.
18. Сушко, Е. А. Разработка методики расчета рациональных режимов систем вентиляции производственных помещений / Е. А. Сушко, К. Н. Сотникова, С. Л. Карпов // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 143-149.
19. Кононова, М. С. Оценка потенциальной экономии энергоресурсов на отопление зданий за счет теплоступлений от солнечной радиации / М. С. Кононова, Е. Ю. Сороченкова, Н. Н. Смирнова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1 (22). – С. 35-41.

Для цитирования: Ермаков, Н. О. Преимущества внедрения информационного моделирования при реконструкции типовых серий жилых домов / Н. О. Ермаков, С. Г. Тульская // Научный журнал. Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3(16). – С. 31-35.

УДК 620.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ВОРОНЕЖ

А. В. Миляева, Т. В. Щукина, Е. С. Исаева

*Воронежский государственный технический университет**А. В. Миляева, студентка кафедры жилищно-коммунального хозяйства**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)874-11-46, e-mail: n.milya@bk.ru**Т. В. Щукина, канд. техн. наук доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-92, e-mail: schukina.niki@yandex.ru**Е. С. Исаева, студентка кафедры жилищно-коммунального хозяйства**Россия, г. Воронеж, тел. +7(952)543-41-92, e-mail: ikskaterina2@mail.ru*

Постановка задачи. Рассмотреть перспективы использования биогазовых установок для очистных сооружений г. Воронеж. Проанализировать различные методы повышения их энергоэффективности и рентабельности. Провести анализ рациональной очистки поверхностных вод Воронежского водохранилища от сине-зеленых водорослей.

Результаты и выводы. Обосновывается целесообразность применения биогазовых установок для очистных сооружений. Установлено, что комплексный подход к их строительству вносит неоценимый вклад в сохранение энергетических ресурсов; их использование решает ряд экологических проблем. Сформулирована общая картина о значении биогазовых установок для очистных сооружений г. Воронеж в качестве метода ресурсоэнергосбережения.

Ключевые слова: биогаз, утилизация, органические отходы, биомасса, цианобактерии, очистные сооружения, возобновляемые источники энергии.

Введение. В настоящее время в нашей стране уделяется большое внимание снижению выбросов различных вредных веществ в атмосферу, а также переходу предприятий на безотходное или малоотходное производство, в частности канализационные очистные сооружения. В связи с чем, возникает потребность в рассмотрении различных методов направленных на решение поставленных задач.

Для г. Воронежа основными водными объектами являются Воронежское водохранилище, р. Усмань, р. Дон. Расположение этих водоемов в сильно урбанизированном регионе обуславливает относительно высокий уровень загрязнения воды, низкую гигиеническую безопасность. Также одним из весомых факторов загрязнения является то, что весь объем сточных вод общегородской канализационной сети направляется на очистные сооружения (ОС), при этом канализационные стоки правобережной части города отводятся в р. Дон, объем очистных сооружений сброса составляет 93,9 млн. м³/год, а левобережной части – в Воронежское водохранилище. Основным приемником сточных вод, отводимых в локальные канализационные системы, является Воронежское водохранилище. Суммарный объем сброса стоков в рассматриваемый водоём составляет 125,22 млн. м³/год, при этом от очистных сооружений левобережной части города в водохранилище за год поступает 55,6 млн. м³/год очищенных стоков. Анализ гидрохимического состояния воды Воронежского водохранилища и р. Дон в контрольных створах в 500 м ниже сбросов Левобережных и Правобережных очистных сооружений показывает, что уровень очистки сточных вод недостаточен. Это подтверждают данные исследования проб очищенных сточных вод, сбрасываемых ООО «ЛЮС»

в Воронежское водохранилище, и ООО «РВК-Воронеж» - в р. Дон [1]. Результаты исследований приведены в табл.

Таблица

Качественный состав сточных вод после очистки на ЛОС и ПОС по состоянию на 2017 г.

Ингредиенты	Концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³		ПДК рыбо-хозяйственного водоема 1й категории (рх)	Превышения ПДК _{рх} в «п» количество раз	
	ЛОС	ПОС		ЛОС	ПОС
Взвешенные вещества	20,82	11,8	12,55	1,7	-
Сухой остаток	788,3	535	1000	-	-
Хлориды	139,2	84,14	300	-	-
Сульфаты	92,4	58,98	100	-	-
Азот амоний	10,25	2,64	0,39	26,3	6,8
Нитрат-ион	31,93	33,59	40	-	-
Нитрит-ион	0,61	0,563	0,08	7,6	7,0
АПАВ	0,258	0,071	0,1	2,6	0,7
БПК _{полн.}	32,26	7,31	3,0	10,8	2,4
Медь	0,039	0,006	0,001	39,0	6,0
Цинк	0,05	0,016	0,01	5,0	1,6
Железо общ.	0,802	0,115	0,1	8,0	1,2
Нефтепродукты	0,149	0,071	0,05	3,0	1,4
Фосфаты (по Р)	1,19	2,14	0,2	6,0	10,7

При сбросе загрязняющих веществ через выпуски локальных очистных сооружений наблюдаются превышения 10 из 14 целевых показателей. Что свидетельствует о том, что необходимы анализ эффективности действующих систем по очищению сточных вод, и возможность применения методов, позволяющих не только повысить качество сточных вод на выпуске из очистных сооружений, но и получить энергию (тепловую и электрическую). Так или иначе, для повышения качества сточных вод требуется реконструкция предприятий или же их новое строительство.

Еще одной проблемой, возникающей при малоэффективной очистке сточных вод, является переработка осадка. В настоящее время осадки приходится перекачивать в п. Тенистый, что приводит к повышению влажности перекачиваемого осадка, увеличению расхода электрической энергии. Трубопроводы часто разрушаются и заиливаются. Осадок размещается на площади около 110 га с естественным основанием, что может привести к загрязнению почвы и подземного водоносного горизонта.

1. Обобщенная схема работы биогазовой установки на очистных сооружениях. Одним из возможных методов для решения существующих проблем является установка биогазовой станции на очистных сооружениях (рис. 1).

В результате работы БУ будет получен биогаз – продукт, образующийся при анаэробном сбраживании осадка сточных вод (ОСВ), состоящий из 55-75 % метана и 25-45 % углекислого газа. Теплота сгорания 1 м³ биогаза достигает 22 МДж [2]. Также данный метод позволяет решить экологическую проблему засорения окружающей среды (воды, воздуха, почвы) вредными веществами.

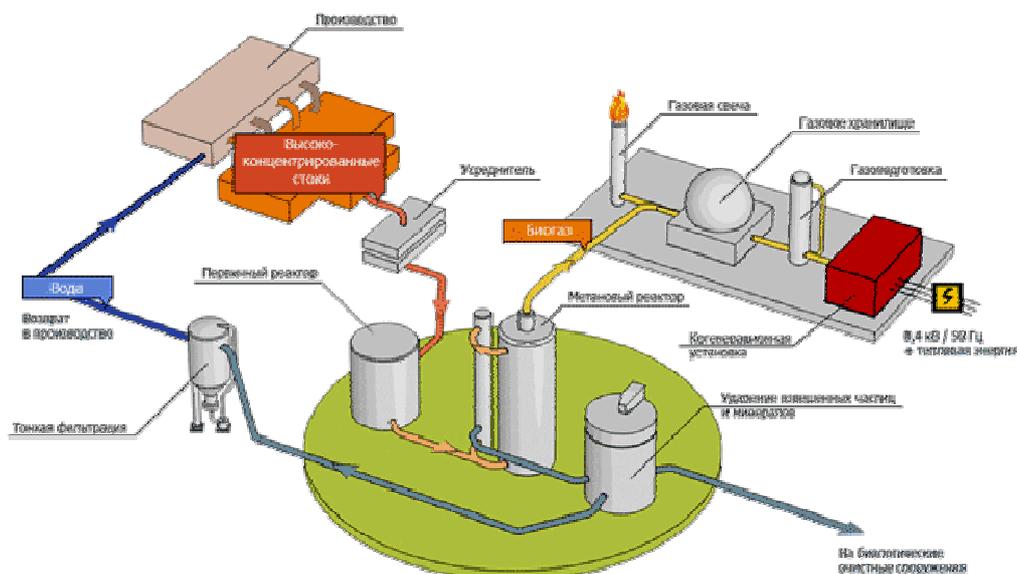


Рис. 1. Обобщенная схема биогазовой установки (БУ) [2]

Технология анаэробной очистки ОСВ заключается в том, что высококонцентрированные стоки усредняются, доводятся до нужной температуры и подаются в предварительный реактор. В нем протекают этапы предшествующие метанообразованию т.е. происходит процесс приготовления стоков для подачи в метановый реактор. Подготовленные стоки насосами подаются в метантенк, в котором в результате жизнедеятельности бактерий происходит разложение органики и образуется биогаз. Метановый реактор является газонепроницаемым, полностью герметичным резервуаром из нержавеющей стали или железобетона. Для поддержания стабильной температуры, он оборудуется внутренней системой подогрева. Для уменьшения теплопотерь предусмотрена наружная теплоизоляция. Управление работой всех очистных сооружений производится по командам от центрального программного модуля в программно-временном режиме.

После анаэробной стадии очистки уровень загрязнений в сточных водах по ХПК снижается в 8-10 раз и они могут быть направлены на биологические очистные сооружения для доочистки и последующего сброса в водоем (рис. 2). Образующийся экологически чистый осадок можно использовать на полях в качестве удобрения. Биогаз накапливается и усредняется по концентрации и давлению в газгольдере. После чего очищается и подается на ТЭС. В качестве генерирующего оборудования ТЭС используются газопоршневые двигатели внутреннего сгорания, приспособленные к работе на биогазе. ТЭС работает по принципу когенерации электрической и тепловой энергии. Общий КПД этого оборудования достигает 95 %. Эти двигатели являются в данный момент наиболее экономически эффективным способом производства энергии. В случае если на предприятии уже имеется собственная котельная или ТЭС, работающая на природном газе, то полная или частичная замена природного газа на биогаз существенно сокращает затраты на производство тепловой или электрической энергии. Все оборудование и технологические процессы анаэробных систем биологической очистки контролируются автоматической системой (АСУ ТП), затраты человеческого труда сведены к минимуму.

Получение биогаза из ОСВ было успешно реализовано на нескольких очистных сооружениях г. Москва [3].

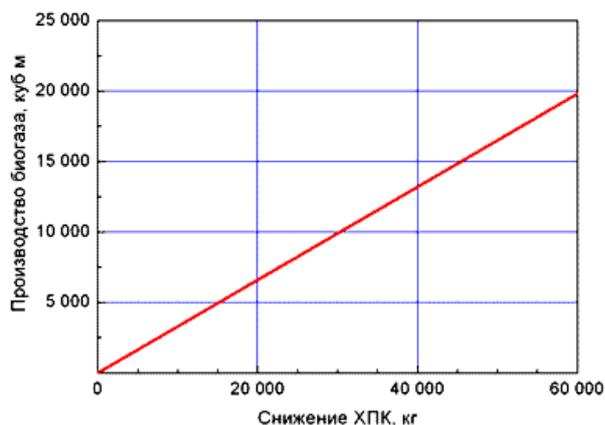


Рис. 2. Зависимость химического потребления кислорода (ХПК) от производства биогаза [2]

Поскольку производство биогаза из ОСВ является менее эффективным, чем из отходов сельского хозяйства, то следует уделить внимание утилизации пищевых отходов владельцев квартир и домовладений, а также процессу антропогенного евтрофирования Воронежского водохранилища.

2. Утилизация пищевых отходов. Каждый житель современного города производит 400-500 кг твердых бытовых отходов (ТБО) в год. При этом пищевые отходы составляют 40% от общей массы ТБО выбрасываемых человеком. В г. Воронеж с населением 1,05 млн человек ежегодно на полигоны отправляется 18,9 тыс. т органических отходов. При попадании на полигоны органические отходы подвергаются интенсивному биохимическому разложению. В них быстро формируются анаэробные условия, в которых протекает биоконверсия органических веществ с участием метаногенного сообщества микроорганизмов и образуется так называемый свалочный газ, который может распространяться на большие расстояния преимущественно в направлении господствующих ветров.

Вместо того чтобы идти на свалку пищевые отходы могут дать качественный биогаз, а также питательные вещества для почвы, которые могут быть восстановлены на станции очистки сточных вод. Вовлечение пищевых отходов в систему канализации можно осуществить с помощью установки диспоузера. Диспоузер – измельчитель пищевых отходов для раковины, позволяет быстро перемолоть органические отходы в мелкофракционную кашу, свободно утилизирующуюся по сточным потокам канализации (рис. 3).

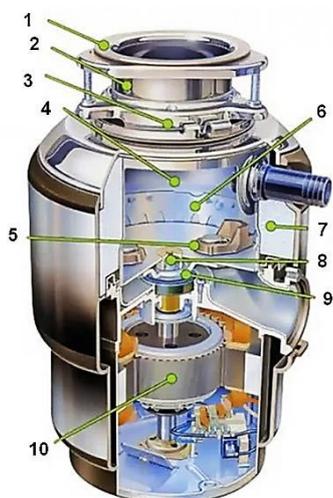


Рис. 3. Устройство диспоузера [4]: 1 – фланец из нержавеющей стали; 2 – дополнительный шумопоглощающий экран; 3 – крепежная система Quick-Lock; 4 – перемалывающая камера; 5 – вращающиеся кулачки; 6 – измельчающие элементы; 7 – дополнительный шумопоглощающий экран и изоляция; 8 – подшипники; 9 – антикоррозийное покрытие; 10 – индукционный двигатель

Существует мнение, что трубопроводы сточных вод не подходят для переноса дополнительной нагрузки от устройства измельчения пищевых отходов. Однако следует учитывать, что диспозеры измельчают отходы в гранулы, 95% из которых меньше 3мм, поэтому традиционная инфраструктура сточных вод может легко переносить их. Для измельчения не подходят только жилистые и волокнистые пищевые отходы.

3. Снижение стремительного евтрофирования Воронежского водохранилища. В последнее время в Воронежском водохранилище наблюдается антропогенное евтрофирование, в результате которого отмечено резкое размножение сине-зеленых водорослей (СЗВ) - цианобактерий, что свидетельствует о повышенном содержании фосфора, азота, биогенных веществ в воде (рис. 4).



Рис. 4. Состояние воды Воронежского водохранилища июль – август 2019

Это обусловлено стремительным процессом урбанизации города и замедленным водным обменом водохранилища. В силу того, что главным источником поступления биогенных веществ в Воронежское водохранилище являются сточные воды и коммунальные стоки, поступающие от ООО «ЛОС», то необходим ряд мер по очистке поверхностных вод от СЗВ наиболее рациональным способом. Цианобактерии представляют угрозу для любого водоема – из-за их неконтролируемого размножения вода в нем быстро «зацветает» и становится непригодной для обитания большинства видов живых существ. Современные синтетические бытовые отходы вызывают стремительный рост цианобактерий, в результате чего вблизи крупных населенных пунктов водоемы ежегодно покрываются тоннами гниющих СЗВ.

Поскольку СЗВ аккумулируют в себе солнечную энергию в форме углеводов растительного происхождения, а максимальное значение КПД фотосинтеза достигает 20 %, что в 200 раз превышает среднее значение КПД фотосинтеза у наземных растений, то было бы целесообразно осуществить сбор и использование их концентрированной биомассы как субстрата для получения биогаза. Этот способ очистки воды от СЗВ имеет относительную дешевизну и дает возможность регулировать размеры капиталовложений на начальных этапах внедрения в зависимости от выбранных масштабов производства, а также повышает рентабельность БУ на очистных сооружениях.

Выводы. Применение биогазовых установок для очистных сооружений г. Воронеж имеет большие перспективы. Комплексный подход к модернизации ОС позволит:

- сократить количество выбрасываемых органических продуктов на полигоны ТБО, которые в результате гниения образуют свалочный газ вредный и опасный для окружающей среды;
- разделить продукты жизнедеятельности человека на 2 фракции: сухую и мокрую, в результате чего получить чистое вторсырье, для дальнейшей переработки (стекло, макулатура, различные виды пластика и т. п.);

– при переработке органики на ОС получить биогаз, который соответствует экологическим нормам, значительно сокращает объемы остаточного осадка, создает новый поток доходов, либо за счет использования энергии, произведенной на месте, либо за счет продажи ее в местную сеть. А также получить дигестат – твердый остаток после процесса гниения, который содержит значительное количество питательных веществ и может быть использован в качестве биоудобрения;

– исключить потребность в земельных территориях для обезвреживания иловых остатков сточных вод;

– очистить водоем, повысить качество воды и улучшить экологическую ситуацию в городе.

Библиографический список

1. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2017 году / Управление экологии администрации городского округа город Воронеж. – Воронеж, 2018 – С. 58.
2. Схема биогазовой установки брожения [Электронный ресурс] // <https://www.gazecos.ru>. – Режим доступа: https://www.gazecos.ru/scheme_biogas.html.
3. Мини-ТЭС на биогазе: опыт МГУП [Электронный ресурс] // <http://www.combienergy.ru> – Режим доступа: <http://www.combienergy.ru/stat/1051-Mini-TES-na-biogaze-opyt-MGUP-Mosvodokanal>.
4. Устройство и принцип работы диспуозера [Электронный ресурс] // <https://rinnipool.ru>– Режим доступа: <https://rinnipool.ru/raznoe/izmelchitel-dlya-mojki.html>.
5. **Мартыненко, Г. Н.** Возможности использования экологически опасных отходов жизнедеятельности в биогазовых установках / Г. Н. Мартыненко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – Т. 2. – № 4 (17). – С. 119-122.
6. **Прокопенко, А. А.** Аспекты экономичного расходования ресурсов на примере применяемых биогазовых установок / А. А. Прокопенко, А. В. Козлов, Г. Н. Мартыненко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1. – С. 9.
7. **Базыкин, Д. А.** Современные проблемы внедрения биогазовых и пиролизных установок в российской федерации / Д. А. Базыкин, Г. Н. Мартыненко, В. И. Лукьяненко // В сборнике: Энергетики и металлурги настоящему и будущему России Материалы 17-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов. Под общей редакцией Е.Б. Агапитова. – 2016. – С. 99-101.
8. **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.
9. **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.
10. **Мелькумов, В. Н.** Энергосбережение в системах традиционного и альтернативного теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, О. А. Сотникова, В. С. Турбин, Д. Н. Китаев, Р. В. Сорокин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2004.– № 2. – С. 62.
11. **Китаев, Д. Н.** Охлаждение воды в трубопроводах системы горячего водоснабжения при отсутствии циркуляции / Д. Н. Китаев, В. Ю. Хузин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017.– № 1 (6). – С. 9-13.
12. **Мариненко, Е. Е.** Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве / Е. Е. Мариненко // Учебное пособие. Волгоград: ВолгГАСА. – 2003.– 100 с.
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. **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
15. **Волков, В. В.** Исследование потерь в видах топлива с растворённой и эмульсионной влагой на сверхвысоких частотах / В. В. Волков, М. А. Суслин, В. Н. Мелькумов, В. Ю. Прищепенко // Измерительная техника. – 2016. – № 3. – С. 68-71.

Для цитирования: **Миляева, А. В.** Перспективы применения биогазовых технологий для очистных сооружений г. Воронеж / А. В. Миляева, Т. В. Шукина, Е. С. Исаева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3(16). – С. 36-41.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

УДК 620.91

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА СТАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

А. А. Пискунков, Е. А. Копытина, П. А. Чудинова, Н. А. Петрикеева

Воронежский государственный технический университет

*А. А. Пискунков, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(910) 288-27-42, e-mail: toni1804@bk.com*

Воронежский государственный университет

*Е. А. Копытина, аспирант кафедры информационных технологий управления
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)101-72-96, e-mail: zhemkaterina@yandex.ru*

Воронежский государственный технический университет

*П. А. Чудинова, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)549-19-57, e-mail: dmch_@mail.ru*

*Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

Постановка задачи. Размещение трубопроводного транспорта из металлических труб в непосредственной близости от высоковольтных линий электропередачи переменного тока является рациональным. При этом необходимо отметить ряд трудностей технического плана, например наведенное напряжение на трубопроводе и его коррозионное разрушение вследствие этого. Необходим поиск решения проблемы, возникающей при влиянии индуцированных переменных токов на стальные трубопроводы и повышение надежности современных коммуникаций.

Результаты. Проведен анализ воздействия электромагнитных полей линий электропередач на стальные трубопроводы, сделаны выводы о коррозионной стойкости труб, предложены методы повышения срока эксплуатации трубопроводов.

Выводы. Необходима минимизация негативных последствий влияния электромагнитного поля воздушных линий переменного тока на стальные трубопроводы путем выполнения заземления трубопровода, в том числе при помощи фильтра, предусмотрение на стадии разработки проекта ряда защитных и профилактических мер для безопасности персонала.

Ключевые слова: линии электропередач; электромагнитное поле; стальные трубопроводы.

Введение. Металлические трубопроводы, используемые для транспортировки нефти и газа, зачастую располагают в одном коридоре с воздушными высоковольтными линиями электропередачи переменного тока [1–4]. Благодаря такому пространственному решению проявляется масса его достоинств, таких как, например, наиболее целесообразное использование земли для строительства коммуникаций, возможность эффективно и рационально осуществлять обслуживание и эксплуатацию как трубопроводов, так и линий электропередач. Но следует отметить, что подобное решение размещения коммуникаций содержит и некоторые недостатки.

Электромагнитное поле воздушных высоковольтных линий электропередачи переменного тока передает находящимся рядом любым проводникам электрического тока определенное напряжение. Указанное напряжение при электрическом соединении всех элементов металлических трубопроводов неизбежно влечет за собой возникновение электромагнитных переменных полей по всей площади трубопроводов [5–11].

Также возникает значительная разница потенциалов между трубопроводом и находящейся вокруг почвой.

Это может послужить причиной:

- опасности и недостаточной защищенности обслуживающего персонала (возможность поражения работников электрическим током);
- выводу из эксплуатации трубопровода переменным электрическим током;
- всевозможных дефектов электрических устройств, связанных с трубопроводом.

1. Оценка магнитного влияния ЛЭП на элементарную линию. Теоретическая оценка влияния электромагнитных переменных полей линий электропередач проводилась в литературе [5] для разных вариантов их размещения относительно друг друга: параллельного и косого сближения и пересечения под различными углами ЛЭП и трубопровода рис. 1.



Рис. 1. Параллельное (а) и косое сближение (б), пересечение (в) ЛЭП с трубопроводом

Магнитное влияние ЛЭП на элементарную линию в виде идеально изолированного тонкого проводника, расположенного в проводящем полупространстве, представляется как модуль отношения комплексных величин E/I – т.е. электродвижущей силы (взаимоиндукции) E в подверженной влиянию линии к току I во влияющей линии.

При теоретической оценке в [11, 12] использовались приближенные формулы, позволяющие произвести расчеты двустороннего взаимного влияния между одно- и многопроводными линиями при разных вариациях их сближения и пересечения.

Расчетные схемы разных вариантов сближения и пересечения представлены на рис. 2.

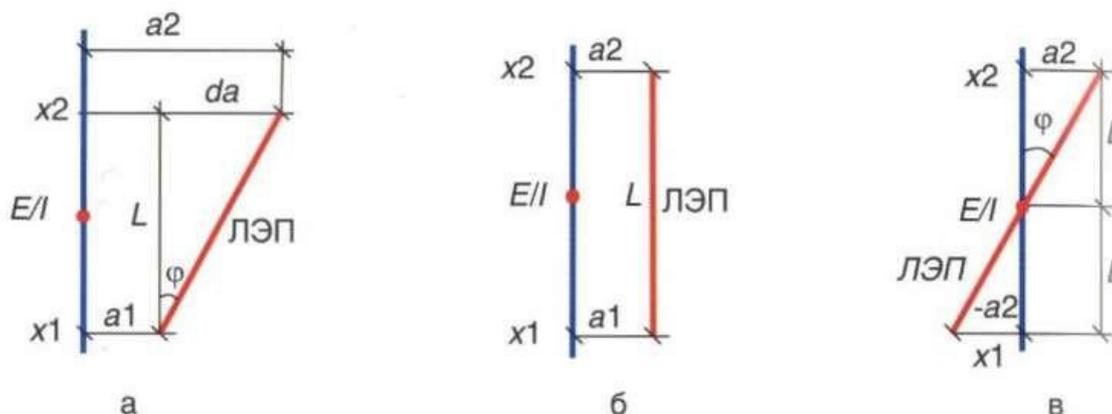


Рис. 2. Схемы участков сближения линии электропередачи и трассы трубопровода на длине L при $\varphi = \text{tg}(da/L)$ и $da = a_2 - a_1$: а – косое сближение на длине L ($a_2 \neq a_1$); б – параллельное сближение на длине L ($a_2 = a_1$); в – косое пересечение на длине $2L$ ($a_1 = -a_2$)

При теоретической оценке влияния электромагнитных переменных полей в [11] были произведены расчеты значения модуля E/l , В/(кА·км), для разных вариантов сближения в зависимости от расстояний al и da в диапазоне $al = 0 \div 10000$ м и $da = 0 \div 1000$ м при различных значениях удельного электрического сопротивления земли $p = 10 \div 10000$ Ом·м, как для однопроводной влияющей линии (аварийный режим работы ЛЭП), так и для трехпроводной симметричной влияющей линии (рабочий режим работы ЛЭП) с различными типовыми профилями опор. Расчеты модуля E/l представлялись в виде номограмм, представленных в [11, 12].

При использовании данных номограмм пользователю должны быть известны такие параметры, как электрическое сопротивление земли, предельный ток нагрузки в ЛЭП при рабочих режимах, ток короткого замыкания фазы на землю, габариты опор ЛЭП - высота опоры, межфазное расстояние, схема расположения фаз (треугольная, в вертикальной или горизонтальной плоскостях) и схема сближения с трубопроводом с размерами al , $a2$, L .

2. Воздействие ЛЭП на металлические трубопроводы. ЛЭП и сети индуцированных переменных токов могут оказывать на магистральные трубопроводы воздействие 3х видов:

- электромагнитное влияние (влияние магнитного поля);
- электростатическое влияние (влияние электрического поля);
- кондуктивное (гальваническое) влияние.

Электромагнитное влияние воздушных линий переменного тока может отражаться как на наземных трубопроводах, так и на коммуникациях, находящихся непосредственно под землей [3, 4, 12]. Следует особо отметить, что сильное электромагнитное воздействие выражается только лишь при достаточном сближении коммуникаций и при значительной протяженности магистрального трубопровода и воздушной линии электропередачи. Например, к подобным случаям можно отнести линию 6 (10) кВ, запитывающую пункты катодной защиты трубопровода, которая сопровождает стальной трубопровод на всей его протяженности. Переменное электромагнитное поле, создаваемое воздушными линиями электропередачи, приводит к формированию продольной электродвижущей силы в трубопроводных коммуникациях. Указанная электродвижущая сила зависит от взаимоиндукции между проводами воздушной линии и трубопроводом, а также от фазных токов.

Продольная электродвижущая сила создает продольный ток в трубопроводе [11]. Электростатическое воздействие выражается только лишь при прямой близости ЛЭП и сооружений трубопроводов до того, пока металлические трубы трубопроводов покоятся на подкладках, которые качественно изолируют их от земли.

Кондуктивное воздействие выражается при падении провода высоковольтной линии электропередач на трубопровод, расположенный под ним, либо в случае короткого замыкания на опору высоковольтной линии электропередачи или замыкании в землю, которая находится рядом с трубопроводом. Следует отметить, что кондуктивным воздействием высоковольтных линий электропередач с транспозиционными опорами является также явление остаточной электродвижущей силы в грозозащитном тросе при несимметрии этого троса относительно иных фазных проводов.

Поражение человека электрическим током при строительстве, проведении ремонтных или профилактических мероприятий может произойти лишь при прикосновении его к металлу трубопровода в случае, если его потенциал отличен от потенциала земли. Указанные работы ведутся за пределами здания при разных атмосферных условиях. В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 напряжение прикосновения и токи частотой 50 Гц, проходящие через организм человека при нормальном (неаварийном) режиме, никак не должны быть выше 2 В и 0,3 миллиампер. Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75 %), должны быть уменьшены в 3 раза [2, 3, 4].

Данные напряжения и токи установлены, основываясь на взаимодействии реакции ошущения при длительности воздействия никак не больше 10 минут в день.

3. Возникновение дефектов изоляции трубопровода при наведенном напряжении. Появление дефектов металлических изолированных трубопроводов под воздействием тока нередки в общей статистике. Первые подобные случаи были обнаружены на трубопроводах природного газа с хорошим электрически изолированным наружным защитным покрытием. Повреждения имели вид местной коррозии и были отнесены к данному виду разрушения. Коррозия происходила в том числе и тогда, когда трубопровод был катодно защищен [7, 8, 11].

Эти случаи были обусловлены переменным током промышленной частоты высокой плотности. В обоих случаях трубопроводы были обеспечены катодной защитой, однако были подвержены влиянию переменного напряжения из-за их близкого расположения к высоковольтным линиям электропередачи. Тогда же была определена разность потенциалов между металлом трубопровода и почвой, при которой влияние переменного электрического тока могло с легкостью разрушить металл трубопровода. Ее величина находится в диапазоне от 4 до 10 В в зависимости от удельного сопротивления грунта. Данный процесс разрушения металла трубопровода под воздействием переменного вызывает ряд проблем, для решения которых было проведено несколько экспериментальных исследований [5, 11, 12]. В результате было установлено, что ход разрушения металла трубопровода под воздействием переменного тока не носит коррозионного характера и разрушение металла трубопровода начинается при разности потенциалов около 10 В.

По итогам исследований следуют выводы: риск коррозии увеличивается с усилением воздействия переменного тока и повышением качества покрытия трубопровода.

Результат негативного воздействия при повышенном качестве покрытия трубопровода объясняется тем, что:

- при увеличении сопротивления покрытия возрастает напряжение на трубопроводе;
- при уменьшении размеров дефектов покрытия на участке его повреждения увеличивается плотность протекающего в нём тока.

К изолированным трубопроводам может подключаться достаточно большое количество разнообразного оснащения: устройства катодной защиты, контрольно-измерительные приборы и пр. К примеру, в катодной защите в основном применяются диоды для выпрямления электрического тока 12 класса, что соответствует 1200 В. Кроме того, следует учитывать и термическое воздействие на токоведущие части электрооборудования, вызванное протеканием индуцированного переменного тока. Это возможно при небольшом сопротивлении контура: трубопровод - электрооборудование – земля – трубопровод [6,10].

На стадиях строительства и последующей эксплуатации необходимо использовать различные мероприятия для обеспечения безопасности персонала и оборудования. С целью обеспечения электробезопасности персонала необходимо разработать правила проведения работ, где предусматриваются как организационные, так и технические мероприятия. Первоначальным шагом должно являться аналитическое определение вероятного наведенного напряжения на трубопровод. В случае, если напряжение будет выше допустимого значения, необходимо будет применять мероприятия по его уменьшению. Подобными мерами могут являться: заземление места проводимых работ на трубопроводе как минимум в двух точках; применение сетки с целью выравнивания потенциала [2, 5, 11, 12]. С целью снижения значения наведенного напряжения на трубопровод можно рассмотреть следующие технические решения:

- выполнение заземления трубопровода при помощи фильтра с частотой пропускания 50 Гц. Применение фильтра обусловлено тем, что трубопроводы в основном оборудованы катодной защитой и нельзя допускать стекание защитного тока через заземлитель;

• если на стадии проектирования установлено, что трубопровод будет пребывать в области воздействия воздушных линий переменного тока, в таком случае допускается секционировать трубопровод, применяя изоляционные кольца. Это позволит уменьшить наведенную продольную электродвижущую силу и, следовательно, напряжение на трубе [9].

Выводы. Проведен анализ воздействия электромагнитных полей линий электропередач на стальные трубопроводы. Несмотря на рациональность их близкого взаимного размещения, необходимо отметить ряд трудностей технического плана, например наведенное напряжение на трубопроводе и его коррозионное разрушение вследствие этого. Необходима минимизация негативных последствий влияния электромагнитного поля воздушных линий переменного тока на стальные трубопроводы путем выполнения заземления трубопровода, в том числе при помощи фильтра, предусмотрение на стадии разработки проекта ряда защитных и профилактических мер для безопасности персонала.

Библиографический список

1. **Бэкман, В.** Катодная защита от коррозии: Справ. изд. Пер. с нем. // В. Бэкман, В. Швенк. – М. : Металлургия. – 1984. – 496 с.
2. Временная методика оценки опасности влияния переменного тока высоковольтных ЛЭП на проектируемый трубопровод и технические решения по его защите. – М. : ОАО «Газпром». – 2009. – 25 с.
3. **Кожухов, Р. О.** Экологические аспекты при передаче высоковольтной электрической энергии / Р. О. Кожухов, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 2. – С. 47-51.
4. **Куликова, Е. А.** Оптимизация работы энергосистем. Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения / Е. А. Куликова, Н. М. Попова, Н. В. Коротких, Н. А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 29-36.
5. **Мюльбаер, А. А.** Влияние воздушных линий переменного тока на стальные трубопроводы // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXI междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2014. – № 2(27). – С. 39-48.
6. **Петрикеева, Н. А.** Использование теплоты конденсации продуктов сгорания теплогенерирующих установок систем теплоснабжения / Н.А. Петрикеева, О.С. Цуканова, Д.А. Письменный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 107-113.
7. **Петрикеева, Н. А.** Оптимизация стоимостной целевой функции при определении толщины изоляции в системах теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н. О. Попов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 2 (3). – С. 26-33.
8. **Усачёв, Е. Г.** Повышение противокоррозионных свойств нефтехимического и газового оборудования / Е. Г. Усачёв, А. В. Добычин, М. М. Островская, Н. А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1 (14). – С. 22-28.
9. **Хорошилова, Е. Л.** Повышение противокоррозионных свойств защиты газонефтепроводов / Е. Л. Хорошилова, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 42-49.
10. **Щукина, Т. В.** Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в гелиоустановках / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2017. – № 1. – С. 118-121.
11. **Яблучанский, А. И.** Методика оценки опасного влияния переменного тока высоковольтных ЛЭП на проектируемый газопровод: Матер. отраслевого совещания по проблемам защиты от коррозии (г. Барнаул, 21-26 апреля 2008 г.). – М: ИРЦ Газпром. – 2008. – С.110-123.
12. **Яблучанский, А. И.** Оценка влияния высоковольтных ЛЭП переменного тока на проектируемый газопровод и технические решения по его устранению: Матер. отраслевого совещания по проблемам защиты от коррозии (г. Зеленоград, 15-18 мая 2007 г.). – М: ИРЦ Газпром. – 2008. – С. 48-56.

Для цитирования: **Пискунков, Е. Г.** Влияние воздушных линий переменного тока на стальные трубопроводы / А. А. Пискунков, Е. А. Копытина, П. А. Чудинова, Н. А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 3 (16). – С. 42-46.

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.