

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 1(18) 2020**

**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](mailto: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

**№ 1(18)**

**Март, 2020**

- 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.

**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

**Осипова Н. Н.**, д-р техн. наук, доц., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

**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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Дата выхода в свет 31.03.2020. Усл. печ. л. 7.09. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 421

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, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ.....</b>	<b>6</b>
<i>Китаев Д. Н., Ляхнович А. Г., Ильин О. Ю., Потапов А. А.</i>	
Приближенное уравнение для расчета располагаемой мощности газотурбинного привода.....	6
<i>Мелькумов В. Н., Аралов Е. С., Долбилова М. А., Каширин М. А.</i>	
Численное моделирование тепловых потерь теплопроводов при бесканальной прокладке.....	10
<i>Чудинов Д. М., Щукина Т. В., Петрикеева Н. А., Попова Н. М.</i>	
Уровень снижения температуры теплоносителя в системе отопления многоэтажного жилого дома.....	17
<i>Попова Н. М., Коротких Е. П., Курносов А. Т., Черемисин А. В.</i>	
Инновации котлостроения.....	22
<i>Журавлев П. О., Потапов А. А., Мартыненко Г. Н., Агапов Д. Ю.</i>	
Методы неразрушающего контроля трубопроводов.....	27
<i>Долбилова М. А., Бугаевский Д. О., Михайлов А. А., Макаров А. Р.</i>	
Финский опыт применения солнечной энергетики в жилищном строительстве.....	34
<i>Шафеев Д. Ю., Мартыненко Г. Н., Панов М. Я., Шипилова Ю. Г.</i>	
Выбор оптимальных приборов и методов обследования подземных газопроводов.....	39
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ.....</b>	<b>47</b>
<i>Клоян А. Н., Бургонутдинов А. М., Лялькина Г. Б.</i>	
Методика статистической проверки достоверности уравнения аварийности кольцевых пересечений автомобильных дорог.....	47
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ.....</b>	<b>53</b>
<i>Колосова Н. В., Кочура О. А., Тагайчинова А. А., Гасанов З. С.</i>	
Методика расчета дождевой канализации для склада нефтепродуктов в г. Воронеже.....	53
<b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....</b>	<b>60</b>

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 622.691.4.052

## ПРИБЛИЖЕННОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПОЛАГАЕМОЙ МОЩНОСТИ ГАЗОТУРБИННОГО ПРИВОДА

Д. Н. Китаев, А. Г. Ляхнович, О. Ю. Ильин, А. А. Потапов

*Воронежский государственный технический университет*

*Д. Н. Китаев, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

*А. Г. Ляхнович, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*О. Ю. Ильин, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*А. А. Потапов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** Значение располагаемой мощности является важным параметром, определяемым при проектировании и эксплуатации компрессорных станций магистральных газопроводов. Располагаемая мощность газотурбинного агрегата зависит от термодинамических параметров атмосферного воздуха, идущего в компрессор [1, 2]. Анализ влияния параметров наружного воздуха на изменение располагаемой мощности является важной задачей.

**Результаты.** Проведены расчеты коэффициентов, учитывающих влияние высоты установки газоперекачивающих агрегатов над уровнем моря и температуру атмосферного воздуха, поступающего в компрессор газотурбинной установки. Определены диапазоны возможного изменения располагаемой мощности.

**Выводы.** Получено приближенное уравнение, позволяющее определить располагаемую мощность газотурбинного привода центробежного нагнетателя, учитывающее влияние температуры наружного воздуха на входе в компрессор и отметку установки оборудования над уровнем моря.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, располагаемая мощность, влияние окружающей среды.

**Введение.** Газотурбинные технологии нашли широкое применение в нефтегазовом деле [3–8]. Их широко используют в качестве приводов для нагнетателей магистральных компрессорных станций [1, 2]. При проектировании газотурбинных установок принимаются проектные параметры наружного воздуха: температура +15 °С; относительная влажность 60 %; давление 0,1013 МПа. В реальных условиях эксплуатации параметры среды могут значительно отличаться от проектных [3, 9].

На располагаемую мощность газотурбинного агрегата влияют параметры окружающей среды. В современной литературе указывается, например, что на один градус изменения температуры воздуха на входе в осевой компрессор приходится изменение эффективной мощности установки на 1 % и более [2]. Изменение электрической мощности ГТУ при изменении температуры наружного воздуха в диапазоне –20 °С до +45 °С составляет до 70 % [3].

Располагаемой мощностью  $N_e^p$  называют максимальную рабочую мощность на муфте газового нагнетателя, которую может развивать привод в конкретных стационарных условиях. Принято считать, что располагаемая мощность ГТУ функционально зависит от номинальной мощности в станционных условиях  $N_e^0$ , температуры воздуха на входе в ГТУ, барометрического давления на отметке расположения установки, отклонения расчетной частоты вращения силового ротора ГТУ от номинальной величины, дополнительных гидравлических сопротивлений всасывающего и выхлопного трактов (например, при установке утилизационного теплообменника на выхлопе), дополнительных отборов сжатого воздуха от ГТУ (например, на противообледенительную систему, отопление, внешние нужды) и технического состояния ГТУ [4].

**1. Методика расчета располагаемой мощности ГТУ.** Существует несколько методик расчета располагаемой мощности ГТУ. Одной из последних является метод, приведенный в СТО Газпром 2-3.5-051-2006 [4], который использовался в работе. Рассматриваемый стандарт предназначен для определения выходных показателей газотурбинных установок в диапазоне температур атмосферного воздуха от минус 50 °С до плюс 40 °С и диапазоне загрузки газотурбинной установки от 60 % до 100 %.

Располагаемая мощность ГТУ может быть определена по формуле

$$N_e^p = N_e^0 \cdot K_N \cdot K_t \cdot K_y \cdot K_n \cdot K_{pa}, \quad (1)$$

где  $N_e^0$  – номинальная мощность ГТУ в станционных условиях (мощность на муфте ГТУ в условиях по ГОСТ 28775: при температуре и давлении атмосферного воздуха плюс 15 °С и 0,1013 МПа, без отборов сжатого воздуха и с учетом гидравлических сопротивлений трактов (входного и выхлопного), при отсутствии утилизационного теплообменника);  $K_N, K_t, K_y, K_n, K_{pa}$  – коэффициенты технического состояния по мощности, влияния температуры атмосферного воздуха, наличия утилизатора теплоты, влияния относительной скорости вращения ротора силовой турбины и влияния высоты над уровнем моря соответственно.

Коэффициент  $K_N$  рекомендуется принимать равным 0,95, если нет оснований для другого значения. Коэффициент  $K_n$  обычно учитывается в составе  $K_N$ , а специальный расчет требуется при существенной разнице номинальных частот вращения ГТУ и ЦБН более 10 %. Коэффициент  $K_y$  для стандартных конструкций водяных теплообменных аппаратов принимается равным 0,985.  $K_{pa}$  принимается в зависимости от высоты расположения над уровнем моря.

Для определения коэффициента  $K_t$ , учитывающего влияние температуры атмосферного воздуха, рекомендуется формула

$$K_t = 1 - k_t(T_a - 288) / T_a, \quad (2)$$

где  $T_a$  – температура атмосферного воздуха на входе в ГТУ, К;  $k_t$  – коэффициент, значения которого для оценочных расчетов рекомендуется принимать равным 3,0.

Расчетная температура атмосферного воздуха на входе в ГТУ  $T_a$  определяется по формуле

$$T_a = T_a^{cp} + 5, \quad (3)$$

где  $T_a^{cp}$  – средняя температура атмосферного воздуха расчетного календарного периода, К, определяемая согласно последней редакции строительной климатологии СП 131.13330.2018 [5].

**2. Влияние на располагаемую мощность климатических условий.** Обычно высота установки компрессорных станций над уровнем моря  $h$  незначительна. Например, КС «Береговая» с проектной мощностью 150 МВт, расположенная недалеко от поселка Архипо-Осиповка, построена на высоте 235 м над уровнем моря. Большинство агрегатов компрессорных станций рассчитаны на эксплуатацию на высотах до 1000 м. Принимая диапазон от  $0 \leq h \leq 1000$  м, получено выражение, позволяющее с абсолютной погрешностью не превышающей 0,34 % рассчитать значение коэффициента  $K_{Pa}$ :

$$K_{Pa} = 1 - 0,00011h. \quad (4)$$

В уравнении (3) под величиной  $T_a^{cp}$  понимается средняя температура атмосферного воздуха расчетного календарного периода. В качестве календарного периода можно принять среднюю температуру месяца, среднегодовую, проектную. Из анализа климатологических данных [5] следует, что минимальное значение расчетной температуры холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 для холодного периода наблюдается для Оймякона и Верхоянска и имеет значение  $-60$  °С. Максимальная температура составляет 45 °С для Эльтона и Баскунчака [5]. В итоге диапазон изменения наружной температуры воздуха составляет  $-60 \leq T_a^{cp} \leq 45$  °С.

Подставляя численные значения констант в уравнение (1) получим:

$$N_e^p = N_e^0 \cdot 0,93575(1 - 3(T_a^{cp} - 283) / (T_a^{cp} + 5)) \cdot K_{Pa}. \quad (5)$$

Используем в формуле (5) обозначение

$$0,93575(1 - 3(T_a^{cp} - 283) / (T_a^{cp} + 5)) \cdot K_{Pa} = Y. \quad (6)$$

По результатам расчетов по формулам (4) и (6) построены зависимости  $Y = f(T_a^{cp})$  и  $K_{Pa} = f(h)$  соответственно, представленные на рисунке.

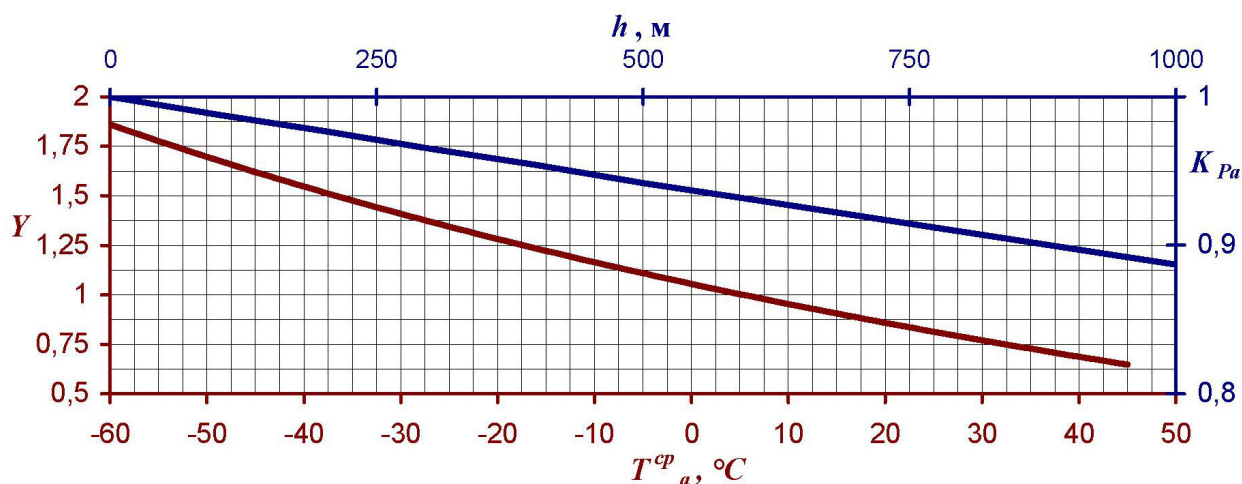


Рис. Зависимости  $Y = f(T_a^{cp})$  и  $K_{Pa} = f(h)$

Кривая зависимости  $Y = f(T_a^{cp})$  может быть представлена в виде уравнения абсолютная погрешность вычисления по которому не превышает 0,86 %:

$$Y = 0,99^{T_a^{cp}} \cdot 1,0428. \quad (7)$$

Из выражения (4) следует, что с увеличением высоты установки агрегата коэффициент  $K_{pa}$  уменьшается, а следовательно и значение мощности  $N_e^p$ . Минимальное значение располагаемой мощности будет получено при максимальной отметке высоты и температуре, а минимальное наоборот. Подставляя в выражение (1) экстремальные значения высот  $h$  и температур воздуха  $T_a^{cp}$ , считая  $N_e^0 = \text{const}$ , получим диапазон возможного изменения мощности:

$$0,5746 N_e^0 \leq N_e^p \leq 1,8603 N_e^0. \quad (8)$$

Возможные отклонения располагаемой мощности составляют от 42,54% в меньшую сторону и до 86 % в большую сторону в условиях  $-60 \leq T_a^{cp} \leq 45^\circ\text{C}$  и  $0 \leq h \leq 1000$  м.

Было получено уравнение, позволяющее для интервала температур воздуха  $-60 \leq T_a^{cp} \leq 45^\circ\text{C}$  и высотных отметок  $0 \leq h \leq 1000$  м, рассчитать значение располагаемой мощности ГТУ с погрешностью не превышающей 1 %:

$$N_e^p = N_e^0 \cdot 0,99^{T_a^{cp}} (1,0428 - 11,77 \cdot 10^{-5} \cdot h). \quad (9)$$

**Выводы.** Получено приближенное выражение позволяющее определить располагаемую мощность газотурбинного привода центробежного нагнетателя, учитывающее влияние температуры наружного воздуха на входе в компрессор и отметку установки оборудования над уровнем моря. Установлены возможные отклонения располагаемой мощности, составляющие от 42,54 % в меньшую сторону и до 86 % в большую сторону в условиях  $-60 \leq T_a^{cp} \leq 45^\circ\text{C}$  и  $0 \leq h \leq 1000$  м.

#### Библиографический список

1. **Рабенко, В. С.** Об особенностях эксплуатации энергоблоков ПГУ в климатических условиях регионов России / В. С. Рабенко, И. В. Будаков, В. М. Неуймин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010 –. №6(68). – С. 9–14.
2. **Микаэлян, Э. А.** Влияние температуры наружного воздуха на располагаемую мощность газотурбинных агрегатов / Э. А. Микаэлян // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2014. – № 3(57). – С. 40–43.
3. **Цанев, С. В.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 584 с.
4. **СТО Газпром 2-3.5-051-2006.** Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. – Введ. 2006–07–03. – М. : Издательский дом полиграфия, 2006. – 197 с.
5. **СП 131.13330.2018.** Строительная климатология. СНиП 23-01-99\*. – Введ. 2019–05–29. – М. : Стандартинформ, 2019. – 107 с.
6. **Китаев, Д. Н.** Коэффициент сжимаемости природного газа стандартного состава / Д. Н. Китаев, Д. О. Недобежкин, В. М. Богданов, Т. Бейманов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – №1(14). – С. 29–33.
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. **Михайлова, Е. О.** Прогнозирование гидравлических характеристик газопроводных сетей на газораспределительных пунктах / Е. О. Михайлова, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. - №3(8). – С. 23–29.
9. **Копытина, М. Ю.** Диагностика загрязнения окружающей среды и комплексный подход к ее защите / М. Ю. Копытина, Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина, Е. А. Апойкова // Экология и промышленность России. – 2017. – Т.21. – №4. – С.59–63.

*Для цитирования:* **Китаев, Д. Н.** Приближенное уравнение для расчета располагаемой мощности газотурбинного привода / Д. Н. Китаев, А. Г. Ляхнович, О. Ю. Ильин, А. А. Потапов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 5 (18). – С. 6–9.

УДК 696.4

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ  
ТЕПЛОПРОВОДОВ ПРИ БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКЕ**

В. Н. Мелькумов, Е. С. Аралов, М. А. Долбилова, М. А. Каширин

*Воронежский государственный технический университет**В. Н. Мелькумов, д-р. техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**Е. С. Аралов, ассистент кафедры теплоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru**М. А. Долбилова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**М. А. Каширин, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: maksim.kashirin@mail.ru*

**Постановка задачи.** Подбор теплоизолирующего материала является важной задачей. Одно из главных условий является правильность подобранного материала. В современных реалиях при большом количестве разнообразных теплоизолирующих материалов, нужно подобрать самый оптимальный вариант, учитывая множество критериев.

**Результаты и выводы.** В статье рассмотрены наиболее часто используемые виды теплоизоляционных материалов при канальной и бесканальной прокладке теплотрассы. Определены их конструктивные особенности, зависящие от условий использования и способа применения. Проведен сравнительный анализ технических характеристик каждого из рассматриваемых материалов. Также были выведены значения теплотерь зависящие от выбора теплоизолятора и от расположения теплопровода относительно поверхности грунта и относительно вертикальной оси трубопровода при однострувной и двухтрувной системе.

**Ключевые слова:** тепловые сети, теплотери, тепловая изоляция, теплотери.

**Введение.** Наблюдаемая в настоящее время тенденция снижения мощности вводимых источников централизованного теплоснабжения, а так же конструктивное совершенствование трубопроводных сетей приводит к увеличению доли бесканальной прокладки тепловых сетей в общем объеме строящихся систем теплоснабжения. Одним из наиболее важных направлений исследования данного вида прокладки подземных теплопроводов, является взаимодействие изолированного трубопровода с окружающим грунтом и, как следствие, возникающие тепловые потери, а так же динамике их изменения с течением времени [1–5].

Не только потери теплоты, но, что не менее важно, его долговечность зависят от качества выбранного теплоизолирующего материала для теплопровода при различных условиях эксплуатации. При правильном подборе наиболее качественного материала теплоизоляционная конструкция помимо основной своей функции может играть роль антикоррозионной защиты поверхности, которая, в свою очередь, соприкасается с агрессивной внешней средой. Один из наиболее часто используемых материалов, который выполняет такую функцию, является полиуретан и его производные.

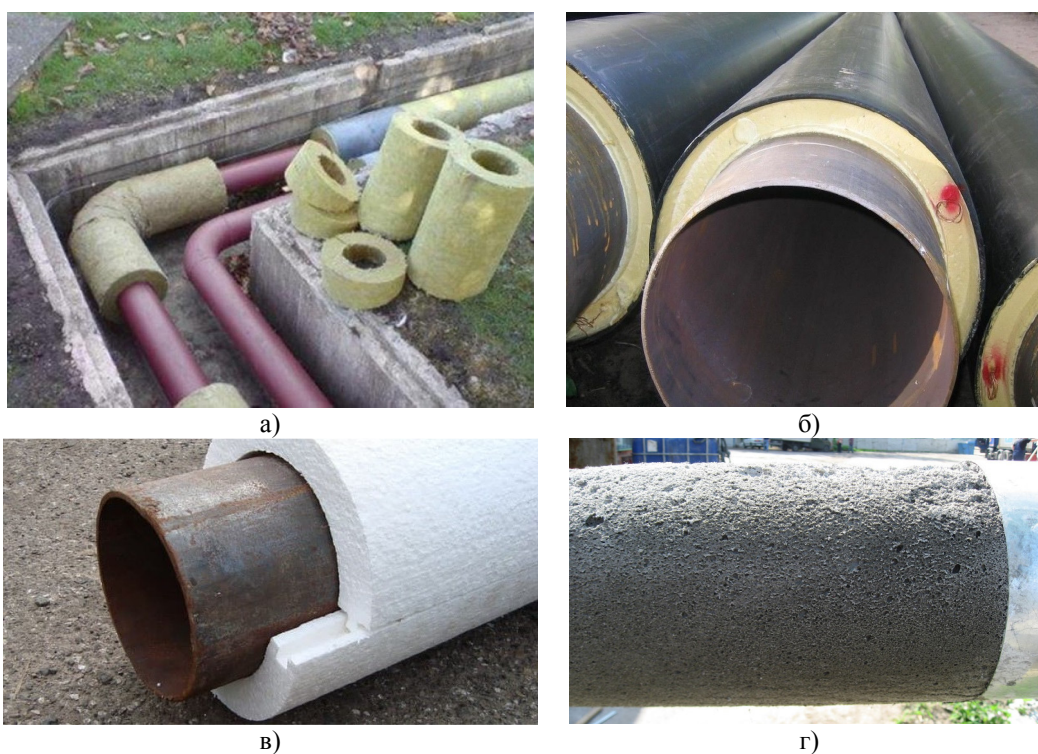
Существует множество основных требований, которые могут предъявляться к теплоизоляционному материалу. Выделим самые главные из них:

- материал должен обладать низкой теплопроводностью, как при низких показателях влажности грунта, так и при высоких;
- значение показателя водопоглощения должно быть минимальное;
- выполнение функции антикоррозионной защиты;

- высокие показатели электрического сопротивления;
- щелочная реакция грунта (водородный показатель должен быть более 8,5);
- высокая механическая прочность и устойчивость.

При выполнении всех вышеперечисленных требований можно будет рассчитывать на долговечность всей теплоизоляционной конструкции в целом. Высокие значения теплового сопротивления изолирующего материала означает практически низкий коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, что необходимо для уменьшения потерь тепла. Необходимость низкого поглощения влаги теплоизоляционной конструкции также связана с задачей уменьшения потерь тепла, так как при впитывании достаточного количества влаги изолирующим слоем, его показатели теплопроводности увеличиваются, а потери тепла возрастают. От влагопоглощения изолирующей конструкции, а также ее воздухопроницаемости и электрическое сопротивление напрямую зависит долговечность тепловой сети [6–12].

**1. Теплоизоляционные материалы основные виды и характеристики.** Преимущественно при прокладке тепловых сетей в качестве теплоизоляционной конструкции используют минеральную вату (рис. 1а). Применяется данный материал чаще всего при прокладке теплотрассы в непроходных каналах.



**Рис. 1.** Внешний вид теплоизоляционных конструкций: а) минеральная вата; б) пенополиуретановая теплогидроизоляция; в) фенолформальдегидный пенопласт; г) пенобетон под оцинкованной оболочкой [13, 14]

Производство минеральной ваты является сложным технологическим процессом, который связан с высокими трудозатратами. Материал получают способом расплавления горных пород и легкоплавкого сырья содержащие силикаты.

В зависимости от плотности различают жесткие, полужесткие и мягкие изделия. Изделия в виде цилиндра с разрезом вдоль бокового профиля, полуцилиндры для изоляционной конструкции теплопроводов малого диаметра (до 0,25 м) и секции для труб диаметром более 0,25 м выполнены из жестких материалов.

Теплопроводность изделий из минеральной ваты, в зависимости от марки, имеет минимальное значение  $0,044 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) и максимальное  $0,049 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) при температуре 298 К и  $0,067 \cdot 10^{-3}$  ...  $0,072 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) при температуре 398 К.

В последнее время на теплотрассах часто применяют теплоизоляционные конструкции из пенопласта (рис. 1б). Многообразие применяемых маркировочных изделий зависят от ценовой политики используемого материала и от качества исполнения теплоизоляционного изделия. Удельная теплопроводность изделий из пенопластов имеет минимальное значение  $0,043 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) и максимальное  $0,046 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) при температуре 293 К.

Прогрессивные тенденции в области строительства тепловых сетей в первую очередь связаны с широким применением пенополиуретановых теплогидроизоляций (рис. 1в), получаемых в результате смешения различных полиэфиров, изоцианатов и вспенивающих добавок. В первую очередь материал обладает очень низким коэффициентом теплопроводности, который позволяет свести к нулю тепловые потери. В зимнее время на поверхности изоляционного слоя отсутствуют следы таяния снега. Также он обладает небольшим удельным весом, этот фактор очень важен при строительстве теплотрассы. Помимо основной своей задачи данный материал достаточно хорошо выполняет функцию гидроизоляции. При определении технических характеристик для примера можно рассмотреть разработанную «ВНИПИ-энергопром» пенополиуретановую теплогидроизоляцию ППУ 308Н. Рассматриваемый вид имеет коэффициент теплопроводности, равный  $0,032 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К), наносится на наружную поверхность трубы механизированным способом, при этом, не имея антикоррозионного покрытия.

Использование способа бесканальной прокладки является привлекательным из-за его простой конструкции и низкой стоимости по сравнению с канальной прокладкой, однако в этом случае требуется более тщательная герметизация поверхности теплопровода до момента ее установки. Необходимо различать конструкции способов бесканальных прокладок, насыпных, монолитные (литые), а также прокладки ранее изолированные трубы с гидроизоляционными защитными оболочками.

Засыпные конструкции характеризуются тем, что трубы с антикоррозионным покрытием, уложенные в траншею, заполнены теплоизолирующей массой. В качестве засыпки чаще всего используют керамзит, перлит и асфальтоизол. Последний отличается тем, что при нагреве трубы теплоносителем вокруг поверхности трубы создается тройной слой: расплавленный материал, который обволакивает наружную поверхность трубы, являясь антикоррозионным слоем, затем пористая спеченная масса, которая является теплоизоляционным слоем, и периферийный слой обратной засыпки, неподвергающийся воздействию внешней среды. Как показывает практика наружный слой, в основном, увлажняется, и влага не проникает на поверхность трубы. Удельная теплопроводность асфальтоизола варьируется от  $0,085 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) в грунте пониженной влажности до  $0,2 \cdot 10^{-3}$  кВт/(м·К) в грунте повышенной влажности.

При существовании необходимости удлинения теплотрассы в изоляции из армопенобетона реконструкция будет сопровождаться и увеличением длины изоляции.

Стыки теплопровода изолируют по месту сварки скорлупами или сегментами из пенобетона (рис. 1г). Высокая индустриализация изготовления изоляции в монолитной железобетонной оболочке является результатом широкого внедрения этого метода при строительстве тепловых сетей.

Большое количество материалов было разработано и использовано для монолитной теплоизоляции при бесканальной прокладке, так как данный вид экономически выгоден и прост в эксплуатации. В то же время многочисленные виды теплоизоляционных конструкций при канальной прокладке часто применяются при определенных условиях их непосредственного использования.

**2. Расчет теплотерь однотрубной системы при бесканальной прокладке при различных параметрах грунта.** Для расчета были использованы 4 вида изоляции: листовая изоляция «K-FLEX» SolarHT толщиной 40 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_i=0,04$ ; цилиндрическая теплоизоляция из минеральной ваты «Техно 80» толщиной 40 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_i=0,036$ ; ППУ скорлупа «Амаго» толщиной 40 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_i=0,025$ ; мат «Izovol 40» толщиной 40 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_i=0,034$ . Также были рассмотрены теплотери при разных видах грунта: сухой, маловлажный, средневлажный, сильновлажный.

Теплотери через изолированный теплопровод при бесканальной прокладке в грунте находят по формуле:

$$Q = \frac{\tau_g - t_n}{\sum \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{in}}{d_{ie}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gp}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_{эк}}{d_{in}}}, \quad (1)$$

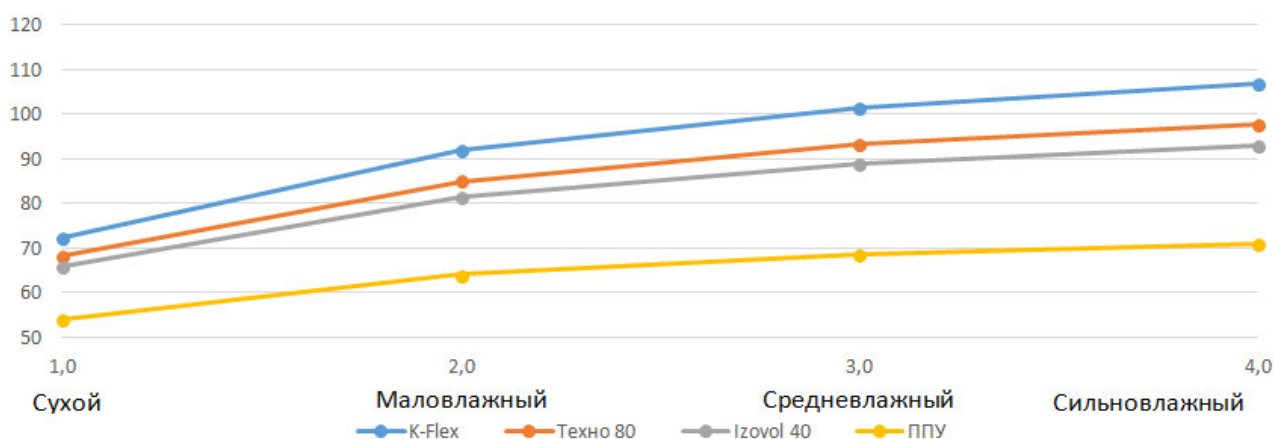
где  $\tau_g$  – температура теплоносителя,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_n$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя изоляции,  $\text{Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;  $d_{in}, d_{ie}$  – наружный и внутренний диаметры  $i$ -го слоя изоляции, м;  $\lambda_{gp}$  – коэффициент теплопроводности грунта,  $\text{Вт/м}$ ;  $h_{эк}$  – эквивалентная глубина заложения, м.

Эквивалентная глубина заложения  $h_{эк}$  определяется по формуле:

$$h_{эк} = h + \frac{\lambda_{gp}}{\alpha}, \quad (2)$$

где  $h$  – глубина заложения теплопровода от поверхности земли до его оси, м;  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи от поверхности земли к воздуху,  $\text{Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

Значения теплотерь по всем вариантам изоляции представлены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Теплотери при бесканальной прокладке однотрубной системы в разных грунтах при различных видах изоляционного материала

**3. Расчет теплотерь двухтрубной системы при бесканальной прокладке при различных параметрах грунта.** Далее проводим расчет при условии бесканальной прокладке двух параллельных теплопроводов при использовании таких же материалов для изоляции.

Для учета взаимного влияния параллельно проложенных теплопроводов вводится условное дополнительное термическое сопротивление  $R_o$ .

При бесканальной прокладке двухтрубных теплопроводов термическое сопротивление определяется по формуле:

$$R_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $b$  – горизонтальное расстояние между осями труб, м.

Теплотери двухтрубного теплопровода при бесканальной прокладке рассчитываются по следующим формулам для первого и второго трубопровода соответственно:

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{(\tau_1 - t_n) \cdot R_2 - (\tau_2 - t_n) \cdot R_o}{R_1 \cdot R_2 - R_o^2}; \\ Q_2 &= \frac{(\tau_2 - t_n) \cdot R_1 - (\tau_1 - t_n) \cdot R_o}{R_1 \cdot R_2 - R_o^2}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $\tau_1, \tau_2$  – температура теплоносителя в первом и втором трубопроводах,  $^{\circ}C$ ;  $t_n$  – наружная температура воздуха,  $^{\circ}C$ ;  $R_1, R_2$  – термическое сопротивление первого и второго трубопроводов.

Для расчетов  $t_n$  принимается равной естественной температуре грунта на глубине оси теплопровода.

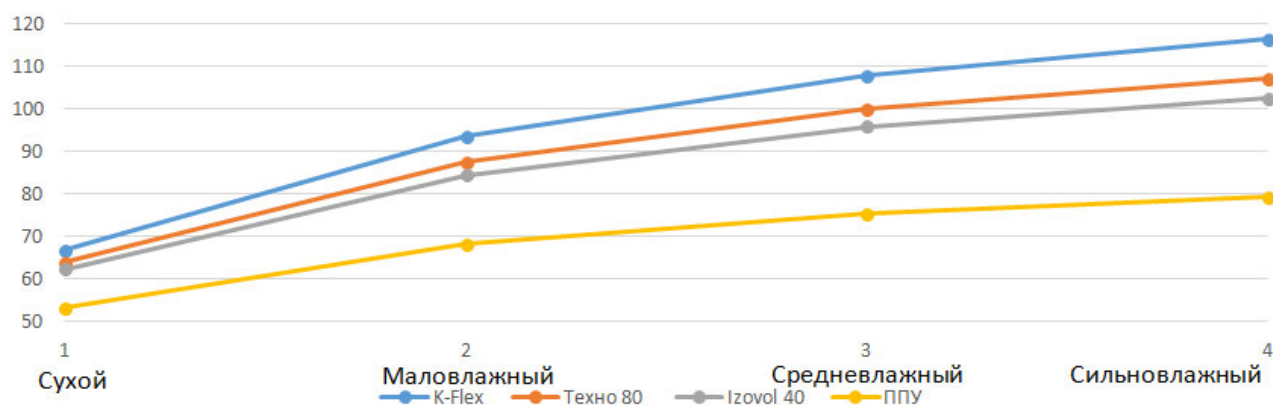
Термическое сопротивление грунта находится по формуле:

$$R_i = R_{iuz} + R_{izp} = \sum \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{in}}{d_{ie}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \ln \frac{4h}{d_n}. \quad (5)$$

Общие теплотери равны сумме теплотерь первым и вторым трубопроводами:

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (6)$$

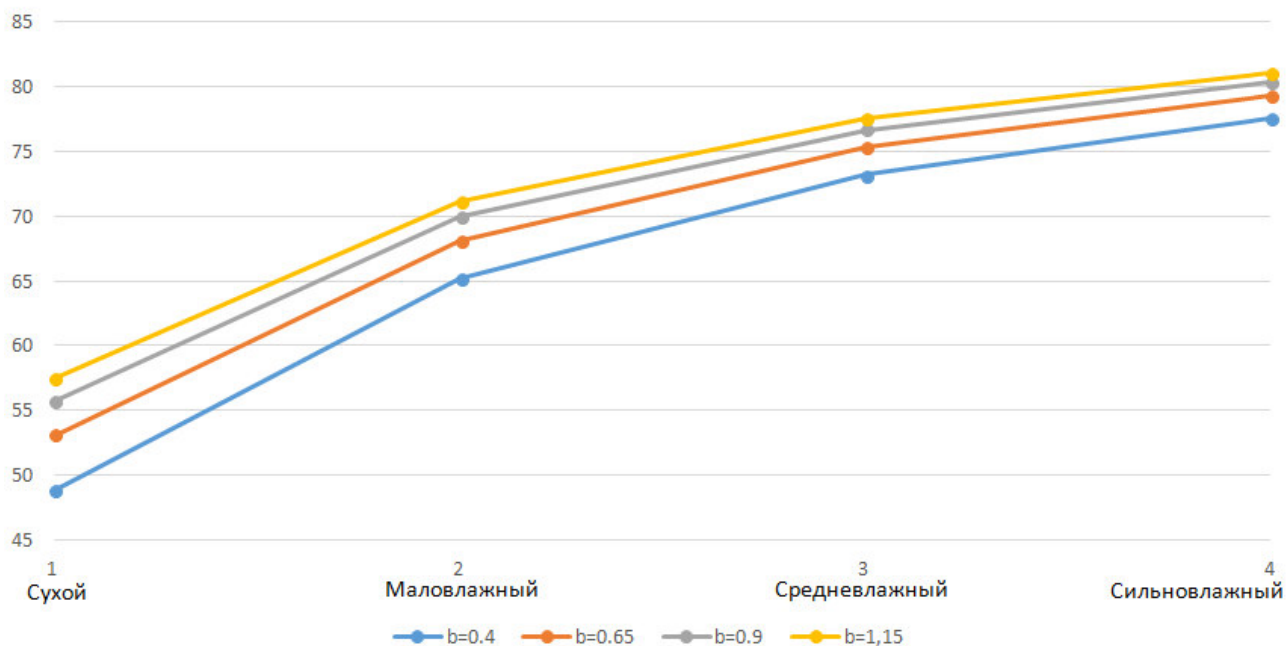
Значения получившихся теплотерь представлены на рисунке 3.



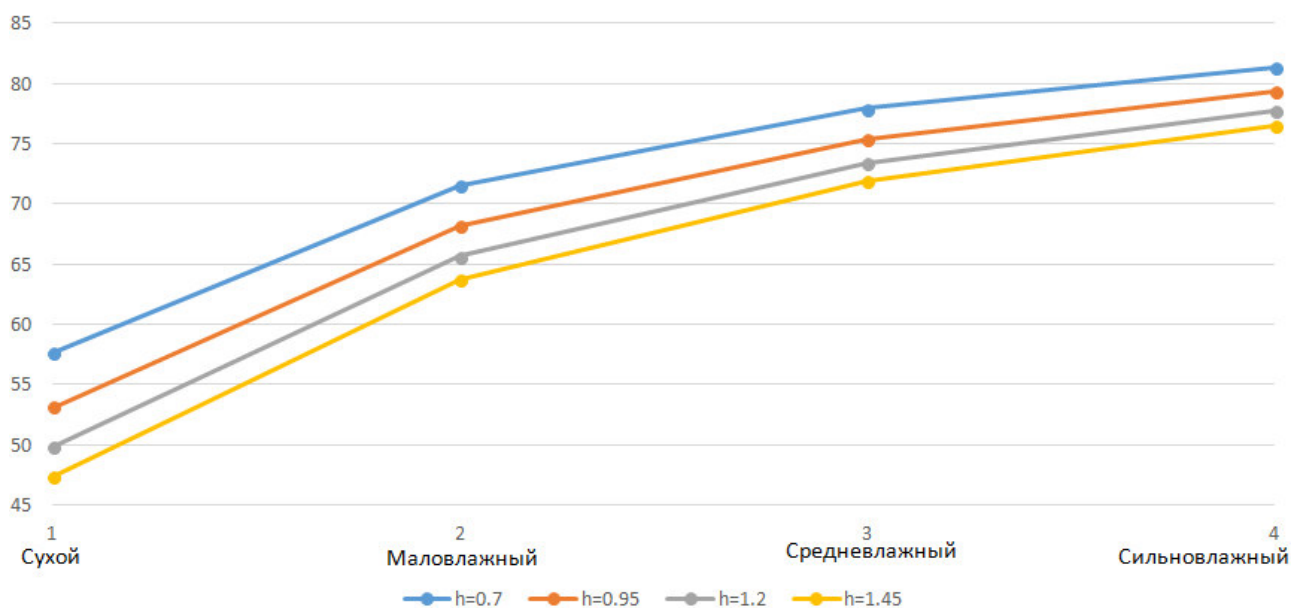
**Рис. 3.** Теплотери при бесканальной прокладке двух параллельных теплопроводов в различном грунте при различных видах изоляционного материала

Из полученных результатов расчетов выбираем изоляционный материал с наименее малым значением теплопотери. Этим материалом является ППУ скорлупа. В дальнейших расчётах будет использовать только этот вид изоляции.

**4. Расчет теплопотерь двухтрубной системы при бесканальной прокладке при различных параметрах грунта, изменении расстояния между осями центра трубопровода и глубиной заложения трубопроводов.** Далее проводится расчет по тем же формулам, но с изменением расстояния между центрами осей трубопроводов и глубиной заложения трубопроводов. Полученные данные отражены на рисунках 4 и 5.



**Рис. 4.** Теплопотери двухтрубного теплопровода при бесканальной прокладке в изоляции из ППУ при изменении расстоянии между центрами оси трубопроводов (b)



**Рис. 5.** Теплопотери двухтрубного теплопровода при бесканальной прокладке в изоляции из ППУ при изменении глубины заложения трубопроводов (h)

**Вывод.** При исследовании часто используемых теплоизоляционных материалов можно сделать вывод, что наиболее подходящий материал для изоляции является ППУ скорлупа, независимо от того в каком грунте пролегает теплотрасса. Также можно сказать, что чем меньше расстояния между центрами осей теплопроводов, тем меньше теплопотери и чем больше глубина заложения теплопровод, тем меньше теплопотери [11, 12, 15].

#### Библиографический список

1. **Мелькумов, В. Н.** Задача поиска оптимальной структуры тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, И. С. Кузнецов, В. Н. Кобелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – №2. – С. 37–42.
2. **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.
3. **Петрикеева, Н. А.** Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов систем теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н. О. Попов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 1. – С. 15.
4. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 1 (41). – С. 21–28.
5. **Чуйкина, А. А.** Исследование существующих зависимостей для определения материальной характеристики тепловой сети / А. А. Чуйкина, К. А. Хамидулина, Е. Е. Сошникова, М. А. Яковлева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №2(11). – С. 34–41.
6. **Чуйкина, А. А.** Зависимость материальных характеристик тепловой сети от распределения нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева, А. Р. Коломийчук // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №3(12). – С. 16–20.
7. **Мартыненко, Г. Н.** Основы автоматизации тепловых процессов: учебное пособие / Г.Н. Мартыненко, А.В. Исанова, В.И. Лукьяненко. – Воронеж, 2015. – 70 с.
8. **Кузнецова, Г. А.** Мониторинг надежности распределительных инженерных сетей / Г. А. Кузнецова, И. В. Личковаха, Е. В. Мамонтов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2 (7). – С. 14–20.
9. **Мелькумов, В. Н.** Математическое моделирование процессов тепломассообмена в сетевых трубопроводах систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, Р. В. Сорокин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2003. – № 1. – С. 37–38.
10. **Китаев, Д. Н.** Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2. – С. 72–77.
11. **Китаев, Д. Н.** Вариантное проектирование систем теплоснабжения с учетом надежности тепловой сети / Д. Н. Китаев // Молодой ученый. – 2010. – № 7. – С. 46–48.
12. **Чудинов, Д. М.** Экспериментальные исследования изменений прочностных характеристик теплопроводов в процессе эксплуатации / Д. М. Чудинов, Н. В. Колосова, В. Л. Бочарников // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2. – С. 104–107.
13. Квалификация теплоизоляции. Теплоизоляция крыши. Теплогидроизоляция и теплоизоляция пенополиуретаном [Электронный ресурс]. URL: <http://coralz.ru/content/kvalifikaciya-teploizolyacii-teploizolyaciya-kryshi-teplohidroizolyaciya-i-teploizolyaciya> (дата обращения: 02.03.2020).
14. АДС СОВБИ. Теплоизоляция трубопроводов [Электронный ресурс]. URL: <http://sovbstroy.ru/services/teploizolyaciya-truboprovodov> (дата обращения: 02.03.2020).
15. **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.

*Для цитирования:* **Мелькумов, В. Н.** Численное моделирование тепловых потерь теплопроводов при бесканальной прокладке / В. Н. Мелькумов, Е. С. Аралов, М. А. Долбилова, М. А. Каширин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 10–16.

УДК 697.1

## УРОВЕНЬ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова

*Воронежский государственный технический университет*

*Д. М. Чудинов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: dmch\_@mail.ru*

*Т. В. Щукина, канд. техн. наук, проф. кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

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

*Н. М. Попова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

**Постановка задачи.** Микроклимат в помещениях жилого дома в зимний период обеспечивается системой отопления (вентиляции). Вариация температуры внутреннего воздуха будет находиться в оптимальном или допустимом диапазоне при грамотно выполненном проектировании, монтаже и эксплуатации энергетической системы. Построенные в мегаполисах многоэтажные здания имеют протяженные инженерные коммуникации, в том числе отопительные. Необходимо уточнение изменения потенциала теплоносителя при его транспортировке к дальней точке.

**Результаты и выводы.** Запроектирована система отопления многоэтажного жилого дома. Произведен расчет изменения температуры теплоносителя и показан уровень ее снижения для рассматриваемого конструктивного решения.

**Ключевые слова:** отопление, теплопотери, температура теплоносителя.

**Введение.** Здания и сооружения, построенные в климатических условиях России, эксплуатируются продолжительное время при низких температурах наружного воздуха. Для поддержания нормируемых параметров микроклимата требуется применение теплогенерирующих систем, компенсирующих теплопотери через наружные ограждающие конструкции. Источником энергии является традиционное органическое топливо или альтернативный ресурс.

Сегодня количество жителей в городах с благоприятным инвестиционным климатом возрастает. Для покрытия жилищных нужд и получения приемлемой прибыли строительные компании возводят многоэтажные здания, в которых применяют разнообразные конструктивные решения систем отопления [1]. С ростом этажности протяженность неизолированных трубопроводов инженерных коммуникаций проходящих внутри квартир увеличивается. Это приводит к снижению потенциала теплоносителя по мере его удаления от теплового пункта и приближения к самому удаленному отопительному прибору, в том числе в двухтрубных системах [2–8].

Нами выполнено проектирование водяной системы отопления семнадцатизэтажного жилого дома с расчётом изменения температуры теплоносителя. Ниже приводится подробная характеристика предложенного варианта коммуникации.

**1. Конструктивное решение системы отопления многоэтажного жилого дома.** Система отопления жилого дома принята вертикальная двухтрубная с тупиковым движением теплоносителя и нижней разводкой (рис. 1–3).

Таблица

Общая характеристика системы отопления многоэтажного жилого дома

Наименование показателя	Характеристика
Количество этажей здания	17
Материал трубопровода	Труба стальная электросварная
Отопительный прибор	Биметаллический секционный радиатор «BILIT» типа БМ-500, теплоотдача секции 205 Вт
Изоляция магистральных трубопроводов	Цилиндры теплоизоляционные ROCKWOOL толщиной 40 мм
Регулирующая арматура	Статический балансировочный клапан БРОЕН Venturi (БРОЕН Venturi DRV)
Прибор учета расхода теплоты	Радиаторный теплосчетчик INDIV 5
Конструктивные особенности	Система отопления жилого дома принята вертикальная двухтрубная с тупиковым движением теплоносителя и нижней разводкой

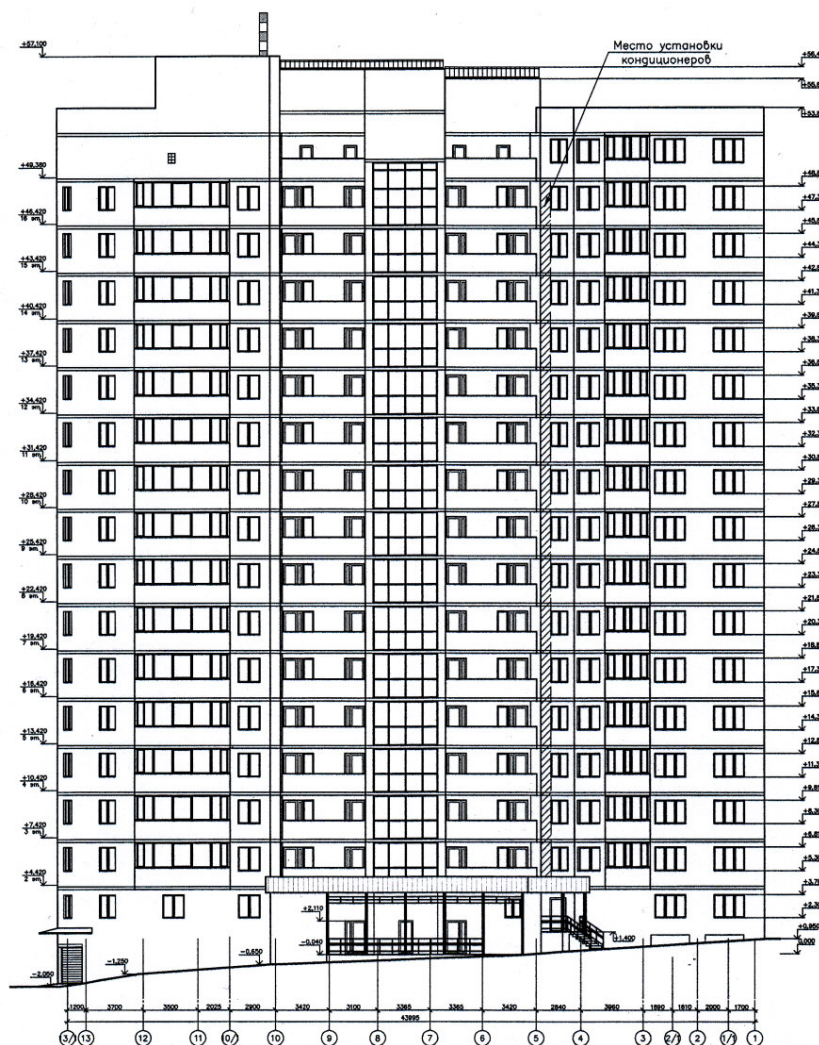


Рис. 1. Фасад здания многоэтажного жилого дома

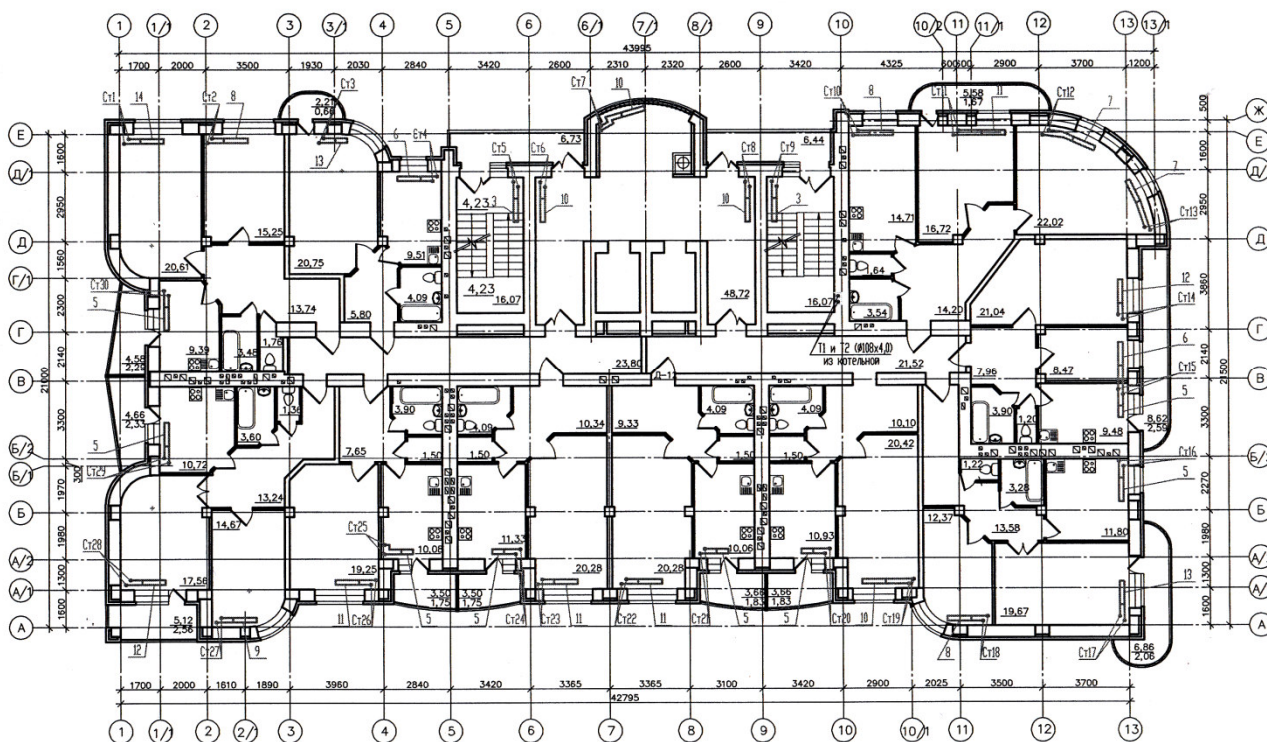


Рис. 2. План типового этажа многоэтажного жилого дома

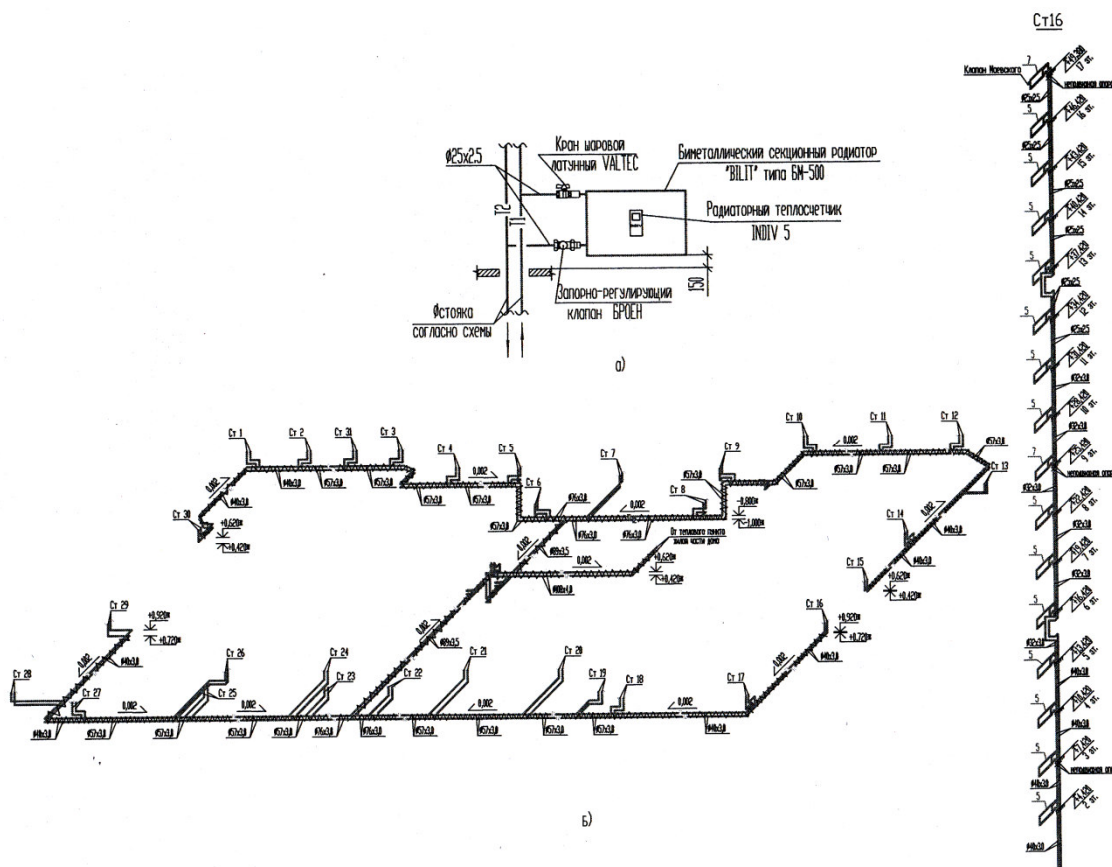


Рис. 3. Аксонометрическая схема системы отопления многоэтажного жилого дома:  
а) узел обвязки отопительного прибора; б) аксонометрическая схема

Для компенсации тепловых удлинений на вертикальных стояках устанавливаются П-образные компенсаторы. Тепловые удлинения магистральных трубопроводов компенсируются углами поворота.

Удаление воздуха осуществляется в верхних точках трубопроводов систем отопления через воздушные краны и через краны Маевского. Слив воды и опорожнение системы отопления – в нижних точках магистралей через спускные краны со штуцерами для присоединения шлангов.

Диаметры трубопроводов рассчитываются с учетом оптимальной скорости движения теплоносителя для обеспечения наименьших гидравлических сопротивлений и соблюдения акустических требований. Для гидравлической увязки системы отопления запроектированы ручные балансировочные клапаны фирмы «БРОЕН», установленные на каждом стояке.

Магистральные трубопроводы, участки стояков системы отопления, проложенные по подвалу, изолируются цилиндрами теплоизоляционными ROCKWOOL толщиной 40 мм из гидрофобизированной каменной ваты, кашированные алюминиевой фольгой относящихся к негорючим материалам группы НГ [9–16].

Мощность системы отопления определена с учетом действительных приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций, которые соответствуют требованиям СП 50.13330.2012.

В здании предусмотрен тепловой пункт, в котором предусмотрен учет тепловой энергии и теплоносителя. Для поквартирного учета тепловой энергии на каждом отопительном приборе установлены радиаторные теплосчетчики INDIV 5.

**2. Уровень снижения температуры теплоносителя в трубопроводах энергосистемы.** Падение температуры в магистральных трубопроводах и стояке определяем по данным [1].

Понижение температуры воды на 10 м изолированной подающей магистрали насосной системы отопления принимаем  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  по данным [1]. Общая протяженность магистрального подающего трубопровода до самого удаленного стояка составляет 51 м. Следовательно, падение температуры в подающей магистрали составит  $\Delta t = 5,1 \cdot 0,3 = 1,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура теплоносителя в точке подключения стояка к магистрали составит  $85 - 1,53 = 83,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Температуру перед самым удаленным отопительным прибором от узла ввода определяем исходя из формулы:

$$Q = G \cdot c(t_1 - t_2), \quad (1)$$

где  $Q$  – теплотери стояка, Вт;  $G$  – расход теплоносителя, кг/с;  $c$  – удельная массовая теплоемкость воды, Дж/(кг  $^{\circ}\text{C}$ );  $t_1$  – температура теплоносителя в точке подключения стояка к магистрали,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2$  – температура теплоносителя перед отопительным прибором,  $^{\circ}\text{C}$ .

Определим теплотери стояка по формуле:

$$Q = q \cdot l, \quad (2)$$

где  $q$  – теплоотдача открыто проложенных вертикальных трубопроводов на единицу длины (принимается по табл. П.22 [1]);  $l$  – длина трубопроводов стояка, м.

$$Q = 102 \cdot 51 = 5202\text{ Вт.}$$

Температура перед самым удаленным отопительным прибором от узла ввода составит:  $t_2 = 83,47 - 6,04 = 77,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Вывод.** Проектируемые и реализуемые системы отопления в многоэтажных жилых домах имеют существенную протяженность. При транспортировке теплоносителя от теплового

пункта до отопительных приборов происходит снижение потенциала (температуры) теплоносителя. Эту особенность необходимо учитывать не только в однотрубных системах отопления при тепловом расчете отопительных приборов, но и в двухтрубных [17–20]. В рассматриваемой конструкции теплоэнергетической системы температура теплоносителя снижается на 7,6 °С.

#### Библиографический список

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.1. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканава и др.; Под ред. И. Г. Старовойра и Ю.И. Шиллера.– 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
2. **Чудинов, Д. М.** Влияние параметров оборудования гелиоустановок на эффективность альтернативного теплоснабжения зданий / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, О. А. Сотникова // Промышленная энергетика. – 2008. – № 9. – С. 44–46.
3. **Чудинов, Д. М.** Обеспечение необходимого уровня энергоактивности солнечных систем, проектируемых для регионов Российской Федерации / Д. М. Чудинов, О. А. Сотникова, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. – № 3. – С. 74–76.
4. **Сотникова, О. А.** Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина // Промышленная энергетика. – 2008. – № 6. – С. 50–52.
5. **Чудинов, Д. М.** Энергосберегающие мероприятия в многоквартирных жилых домах / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – № 1. – С. 32–36.
6. **Сотникова, О. А.** Реконструкция инженерного оборудования жилых зданий / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газотеплоэнергоснабжения. – 2018. – № 1. – С. 216–223.
7. **Щукина, Т. В.** Оценка прогнозируемого энергозамещения зданий с использованием систем солнечного тепло- и холодоснабжения / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов, В. В. Шичкин, И. А. Потехин, Р. А. Шепс // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1 (4). – С. 54–61.
9. **Чудинов, Д. М.** Теплогазоснабжение многоквартирного жилого дома / Д. М. Чудинов, Н. В. Колосова, Н. А. Петрикеева, С. А. Яременко, Г. Н. Мартыненко / Электрон. текстовые данные.– Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2014.– 89 с.
10. **Щукина, Т. В.** Комбинированные солнечные модули и надежность систем жизнеобеспечения / Т. В. Щукина, А. К. Тарханов, Д. М. Чудинов // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2014. – № 1 (145). – С. 82–85.
11. **Богословский, В. Н.** Отопление и вентиляция / В. Н. Богословский, В. П. Щеглов, Н. Н. Разумов // Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1980. – 295 с.
12. **Богословский, В. Н.** Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982 – 415 с.
13. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: жилые здания со встроено-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: Справочное пособие. – М. : Пантори, 2003 – 308 с.
14. **Сканава, А. Н.** Отопление / А. Н. Сканава, Л. М. Махов // Учебник для вузов. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 576 с.
15. **Сотникова, О. А.** Анализ проблем энергосбережения и энергообеспечения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов // Изв. ТулГУ. Серия: Строительство, архитектура и реставрация. Вып. 8. – Тула: Тульский гос. ун-т, 2005. – С. 191–198.
16. **Табунщиков, Ю. А.** Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин // – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
17. **Табунщиков, Ю. А.** Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач // АВОК. – 1998. – № 1. – С. 5–10.
18. **Тихомиров, К. В.** Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеев // Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991.– 480 с.
19. **Фокин, К. Ф.** Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1973. – 287 с.
20. Энергоактивные здания / Под ред. Э. В. Сарнацкого и Н. П. Селиванова. – М. : Стройиздат, 1988. – 376 с.

*Для цитирования:* **Чудинов, Д. М.** Уровень снижения температуры теплоносителя в системе отопления многоэтажного жилого дома / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 17–21.

УДК 696.42

**ИННОВАЦИИ КОТЛОСТРОЕНИЯ**

Н. М. Попова, Е. П. Коротких, А. Т. Курносов, А. В. Черемисин

*Воронежский государственный технический университет**Н. М. Попова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: exclusiv.na@mail.ru**Е. П. Коротких, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473) 271-53-21, e-mail: cool.korotckih@yandex.ru**А. Т. Курносов, канд. техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgsu.vrn.ru**А. В. Черемисин, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgsu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** Увеличение темпов развития энергетики требует внедрения кардинально новых решений. В связи с этим, появилась потребность замены устаревшего оборудования на более мощные аналоги.

**Результаты и выводы.** В статье затрагивается тема внедрения инновационных видов котлов. Обосновывается их преимущество за счёт имеющихся технических характеристик. Описывается принцип работы.

**Ключевые слова:** модернизация, инновации, котел, оборудование.

**Введение.** В последнее время идёт активный курс на модернизацию котельных установок. Это связано с заменой устаревшего оборудования и автоматики, низким КПД, повышением безопасности на объектах повышенной опасности, сокращением уровня расходов.

Модернизация котельных включает в себя комплекс мероприятий, связанных с внедрением инновационных технологий и оборудования, которые позволяют повысить эксплуатационные характеристики объекта и уменьшить затраты [1–5].

Техническому переоснащению могут подвергаться, как правило, только некоторые составные элементы котельных. Но при необходимости может происходить и полная замена котельного оборудования.

Процесс модернизации котельной включает в себя:

- установка современных приборов учёта расхода тепла и топлива;
- проведения мероприятий по автоматизации системы водоподготовки;
- замена систем подачи и подготовки топлива;
- ремонт или замена устаревших котлов, теплообменников;
- оптимизация системы утилизации теплоты дымовых газов;
- замена горелочных устройств.

Немаловажной задачей модернизации является внедрение котельных инноваций. Одной из таких инноваций является внедрение котлов на альтернативных видах топлива, таких, как:

- котлы, работающие на биологическом топливе;
- котлы, работающие на водороде;
- пиролизные котлы.

**1. Биотопливные котлы.** Желание сократить вредные выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу и увеличение стоимости на использование традиционных видов топлива привело к тому, что на

мировом рынке появились котлы, которые работают на биологическом топливе. Этим топливом могут являться как дизельное топливо, так и твёрдое топливо (торфяные брикеты, каменный и древесный уголь, дрова, пеллеты). Наиболее прогрессивный вариант на сегодняшний день представляют собой пеллеты.

Пеллеты – это древесные отходы, представляющие собой цилиндрические спрессованные гранулы, как правило, диаметром 4–10 мм, длиной 10–50 мм. Размер, вид и качество пеллетов зависит от стандартов производства. К примеру, топливные гранулы коричневого цвета ENplus-A2 имеют в своём составе наибольшее количество коры и наибольшую зольность.



Рис. 1. Внешний вид пеллетов [6]

Преимуществом использования пеллет считается пониженное содержание влаги (до 12 %), что характеризует их как высококачественное топливо, следовательно, при сжигании гранул приводит к увеличению теплотворной способности по сравнению с сжиганием обычных дров.

Благодаря высокой насыпной плотности, компактным размерам пеллетов, легко обеспечить погрузочно-разгрузочные работы, транспортировать их на различные расстояния, а также обеспечить традиционное слоевое сжигание и сжигание в котлах с кипящим слоем. Данный вид топлива в котлах с кипящим слоем решает проблему механического недожога.

Таблица

#### Основные характеристики пеллет

Насыпная плотность	650 кг/м <sup>3</sup>
Удельная плотность	1-1,4 кг/дм <sup>3</sup>
Зольность	до 5 %
Теплота сгорания	4,3-4,5 кВт/кг
Теплотворная способность	до 16 МДж/кг
Влажность	до 12 %

Высокий КПД котлов, безопасность при сжигании пеллет, повышение срока эксплуатации котлов, использование котлов различных мощностей делает этот вид топлива одним из перспективным.

Различают котлы, работающие только на пеллетах с одной топкой, котлы, работающие на нескольких видах топлива с одной топкой, котлы, работающие на нескольких видах топлива и имеющие несколько топок (самые дорогие).

Принцип работы пеллетного котла с одной топкой является наиболее простым из всех разновидностей котлов из-за возможности загрузки гранул как вручную, так и автоматическим способом. После засыпки пеллет в бункер они проходят через шнек, который автоматически переносит гранулы в топку. В топку подаётся нагнетаемый воздух для поддержания устойчивого пламени в горелке, а сами пеллеты горят за счёт свечи накаливания. Специальный датчик регистрирует наличие пламени, в результате чего отключается свеча накаливания, и биотопливный котёл переходит в устойчивый режим нагрева. При сгорании гранул в топке происходит отбор тепла в теплообменном аппарате. По достижению  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  котёл включает поддерживающий режим горения. Зола и нагар скапливаются в зольнике, после чего её следует удалять каждые 3–11 дней в зависимости от модели котла.

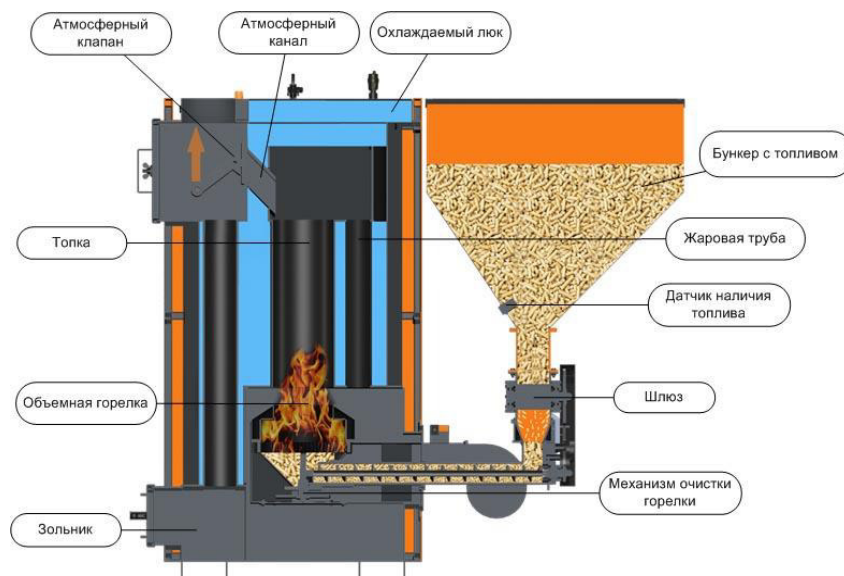


Рис. 2. Внешний вид пеллетного котла [6]

**2. Водородные котлы.** Водород считается одним из самых распространённых элементов на планете. Этот лёгкий газ получают путём расщепления с помощью электрического тока молекулы воды на кислород –  $\text{O}_2$  и водород –  $\text{H}_2$ . Процесс электролиза сопровождается выделением большого количества тепла.

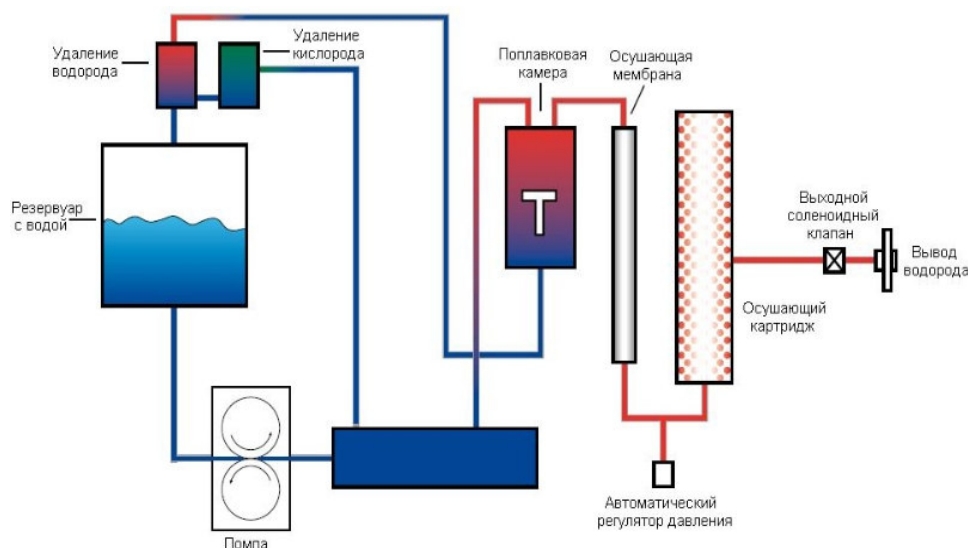


Рис. 3. Схема водородного генератора [7]

Основными составными элементами организации водородного отопления являются:

- водородный котёл, выполняющий функцию теплообменного аппарата;
- специальная горелка, создающая факел в топочной камере;
- электролизер – прибор, служащий для выделения элемента водорода.

Для получения водорода в контейнер с металлическими пластинками наливают воду. Пластины служат проводником электрического тока. При пропускании тока определённой частоты выделяются кислород и водород. Далее элементы проходят через электролизер – происходит вычленение водорода. Очищенный водород перемещается в горелку, а кислород с примесями отводится в специальный резервуар.

Горелочное устройство, в свою очередь, оснащено предохранительным клапаном. Этот клапан предотвращает перемещение газа в обратном направлении, что исключает ситуацию возникновения взрыва.

Тепло возникает вследствие попадания очищенного водорода в камеру сгорания, где он взаимодействует с катализатором. При этом процессе выделяется достаточное количество водяных паров, которые отводятся обратно в ёмкость с пластинами.

Основные преимущества использования водородных котлов:

- высокий КПД (больше 90 %);
- в процессе не происходит выделения токсичных веществ;
- бесшумная работа генератора;
- отсутствие системы дымоудаления и последующей её эксплуатации.

Недостатки использования водородных котлов:

- взрывоопасность производства;
- сложности в транспортировке;
- недостаток кадров, обслуживающих котлы.

**3. Пиролизные котлы.** В котлах этого типа топливом служат дрова. В отличие от традиционных видов котлов, пиролизные имеют в своём арсенале помимо основной второстепенную камеру сгорания, которая служит для дожигания уходящих газов. Основная топка предназначена для формирования уходящих газов.

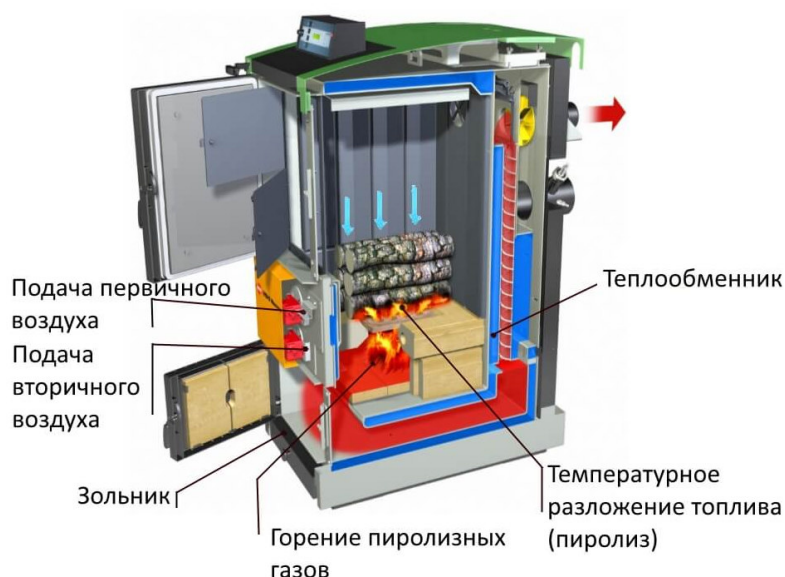


Рис. 4. Внешний вид пиролизного котла [8]

Как правило, топка располагается снизу над зольником, крышка которого отбрасывается для удобства ремонта, очистки и всасывания воздуха, попадающего в топочную камеру.

Работа пиролизного агрегата начинается с загрузки дров в топку при последующем поджоге. В этом процессе заслонка зольника остаётся открытой. После розжига дров дверца котла закрывается. Из-за недостатка поступающего воздуха температура в агрегате уменьшается, и дрова начинают тлеть, активно выделяя древесный газ при температуре около 400–600 °С.

Древесный газ поступает во вторичную топку, где смешивается с нагретым воздухом, который нагрелся от горячей стенки топочной камеры. Процесс пиролиза поддерживается за счёт подмешивания части тепла с нижнего пласта дров при температуре 1200 °С. Выброс уходящих газов осуществляется дымоходом, создающим естественную тягу.

Преимущества использования пиролизных котлов:

- высокий КПД до 95 %;
- в процессе не происходит выделения токсичных веществ;
- малое выделение в атмосферу вредных веществ;
- простота обслуживания.
- малый расход топлива (приблизительно на 50 м<sup>2</sup> помещения приходится 5 кг дров в сутки);
- не требует электрического подключения.

Недостатки использования пиролизных котлов:

- дорогостоящий ремонт;
- не допускается использование сырых дров;
- относительно высокая стоимость;
- большие габариты аппарата.

**Выводы.** Истощение месторождений традиционных природных ресурсов рано или поздно приведёт человечество к борьбе за эти ресурсы. Решение этой проблемы представляет собой поэтапную замену устаревших агрегатов теплоэнергетического комплекса на более усовершенствованные, которые будут удовлетворять потребность в большей мощности и надёжности.

Внедрение альтернативных видов топлива для отопления домов является необходимым решением из-за растущих требований к экологии и ограниченности запасов газа и нефти.

#### Библиографический список

1. Башмаков, И. А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения: Часть 1 Проблемы российских систем теплоснабжения // Энергосбережение. – 2010. – № 2 – С. 46–52.
2. Туккль, И. Л. Методы и инструменты управления инновационным развитием промышленных предприятий / под общ. ред. И. Л. Туккеля. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 208 с.
3. Кольчугина, А. Инновации в отраслях промышленности и федеральных округах / А. Кольчугина, Е. Корепанов, Л. Нестеров // Федерализм: Теория. Практика. История. – 2012. – № 4. – С.95–106.
4. Шкрабовская, А. Ю. Инновационные технологии в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-stroitelstve-1> (дата обращения: 20.03.2020).
5. Ягафарова, Г. Г. Альтернативные источники топлива – перспективный способ энергосбережения / Г. Г. Ягафарова, Л. А. Насырова, А. М. Шаимова, Р. Р. Фасхутдинов // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 6. [Электронный ресурс]. URL: [http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova_1.pdf) (дата обращения: 20.03.2020).
6. Древесные технологии [Электронный ресурс]. URL: <https://wood-teh.ru/pelletyi.-vidyi-pellet> (дата обращения: 20.03.2020).
7. ТЕПЛО-LTD. RU [Электронный ресурс]. URL: <https://teplo-ltd.ru/otoplenie/otoplenie-na-vodorode.html> (дата обращения: 20.03.2020).
8. TERMOPANELI59 [Электронный ресурс]. URL: <https://termopaneli59.ru/kot/kotel-tverdotoplivnyj-vody-top-10-luchshix-modelej-rejting-2019-goda-texnicheskie-xarakteristiki-plyusy-i-minusy.html> (дата обращения: 20.03.2020).

Для цитирования: Попова, Н. М. Инновации котлостроения / Н. М. Попова, Е. П. Коротких, А. Т. Курносов, А. В. Черемисин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 22–26.

УДК 620.179.1

**МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

П. О. Журавлев, А. А. Потапов, Г. Н. Мартыненко, Д. Ю. Агапов

*Воронежский государственный технический университет**П. О. Журавлев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)436-29-03, e-mail: juravlev.pav@yandex.ru**А. А. Потапов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)455-78-87, e-mail: aleksander.potapov.96@yandex.ru**Г. Н. Мартыненко, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)459-09-07, e-mail: glen2009@mail.ru**Д. Ю. Агапов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** Рассмотреть основные принципы работы высоко технологичного оборудования различного типа и методы неразрушающего контроля, позволяющие исследовать трубопроводы в труднодоступных местах. Определить параметры, влияющие на эффективность обнаружения дефектов трубопроводов.

**Результаты.** Проанализированы все методы неразрушающего контроля, при которых достигается наиболее эффективное определение размеров и конфигураций дефектов.

**Выводы.** В результате проведенных исследований сформулированы некоторые рекомендации по выбору метода неразрушающего контроля для определения дефектов трубопроводов, применение которых позволит определить их износ, а также позволит осуществить сравнительный анализ оборудования при проведении инспекционных проверок трубопроводов.

**Ключевые слова:** импульс, трубопроводы, метод неразрушающего контроля, магнитные поля, ультразвук.

**Введение.** Прокладываемые в земле трубопроводы подвержены воздействию агрессивных грунтов-электролитов, сточных и грунтовых вод, блуждающих токов и других неблагоприятных факторов. Для определения состояния глубоко заглубленных трубопроводов, трубопроводов проходящих на дне морей, океанов и в других труднодоступных местах, необходимо вести их систематический мониторинг с помощью различных методов [1]. Особое место занимают методы неразрушающего контроля (НК), которые позволяют проверить качественные характеристики трубопроводов без нарушения их целостности и без остановки технологического процесса. С помощью данного комплекса можно выявить на ранних стадиях возможные дефекты: деформации, вмятины, коррозию, трещины. Хотелось бы остановиться подробнее на методиках и основных принципах используемых технологий работы оборудования, позволяющих проводить инспекцию стальных труб [2–4].

Наиболее часто используемые методы НК в промышленности – это визуальный осмотр, испытания на магнитные частицы, на проницаемость, радиографические, вихретоковые, ультразвуковые, тепловые инфракрасные испытания, испытания на акустическую эмиссию и на утечку магнитного потока.

Из столь широкого списка используемых методов обычно для проверки трубопроводов используются: вихревые токи, утечки магнитного потока и ультразвук.

**1. Вихревые токи (ВТ) и импульсные вихревые токи (ИВТ).** Токовихревой метод основан на регистрации изменения взаимодействия собственного электромагнитного поля катушки с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых этой катушкой в исследуемом объекте (рис.1).

При питании катушки током высокой частоты ее электромагнитное поле возбуждает в стенке трубопровода вихревые токи, которые протекают в поверхностных слоях металла по кольцевым concentричным окружностям. Вихревые токи влияют на полное сопротивление катушки возбуждения.

Если возбуждающую катушку (датчик) поместить над дефектом, изменится и характер вихревых токов.

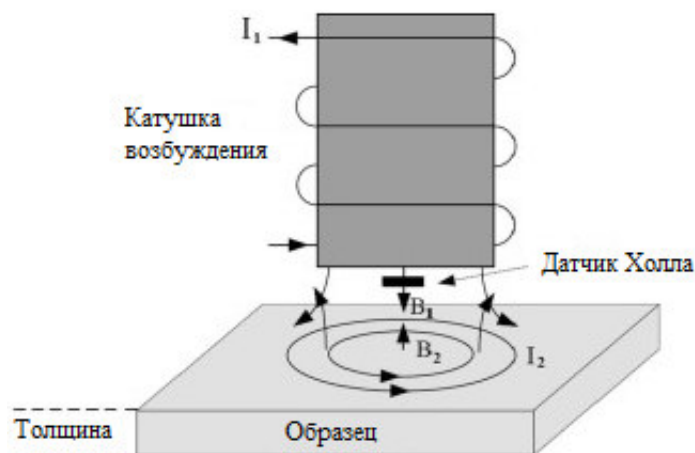


Рис. 1. Основной принцип вихретокового метода [2]

Методика ВТ широко используется при обнаружении дефектов на поверхности или вблизи поверхности проводящих материалов, так как по мере проникания вглубь металла вихревые токи быстро затухают. В методике ВТ глубина проникновения электромагнитной волны возбуждения называется скин-эффект и определяется по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота тока, Гц;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость материала;  $\sigma$  – проводимость материала,  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Формула (1) показывает, что частота должна быть переменной, чтобы получить разную глубину без изменения проводника. Глубина проникновения вихревых токов, которая принадлежит меди и стали на разных частотах, приведена в таблице.

Таблица

Глубина вихретокового проникновения, мм

Частота (Гц)	Медь с $\mu_r = 1$	Сталь с $\mu_r = 100$
0,1	6,6	1,6
10	0,7	0,2
100	0,2	0,05
1000	0,27	0,02

Узкая полоса частот ограничивает глубину исследования. В случае использования импульсного сигнала с широким спектром можно проводить анализ в широком диапазоне. В дополнение к этому, высокие токи возбуждения могут быть использованы для определения дефектов, расположенных в глубине материала. При применении синусоидального сильного тока возникает проблема с нагревом зонда. Импульсный вихретоковой метод используется

для преодоления этого ограничения. В методике ИВТ для возникновения возбуждения используется кратковременные сильноточные импульсы. Когда ИВТ сравнивается с традиционным методом ВТ, его способность обнаруживать дефекты глубже, его низкое энергопотребление и более высокая устойчивость к помехам являются преимуществами.

Зонды, используемые при сборе данных с ИВТ, состоят из элементов возбуждения и сбора. Элементы сбора позволяют определить аномалии, возникшие в магнитном поле после возбуждения из-за дефекта или коррозии. В последнее время магнитные датчики на зондах ИВТ используют в качестве приемника. В качестве примеров такого датчика можно привести датчик Холла. Известно, что магнитные датчики повышают чувствительность техники ИВТ. Датчики ИВТ должны быть специально спроектированы для более глубокого осмотра материалов ИВТ.

Основные значения, полученные из сигналов ИВТ, такие как время пика, время пересечения нуля и значения пика, используются для характеристики параметров дефектов (коррозии, трещин, а также глубины и ширины) (рис.2).

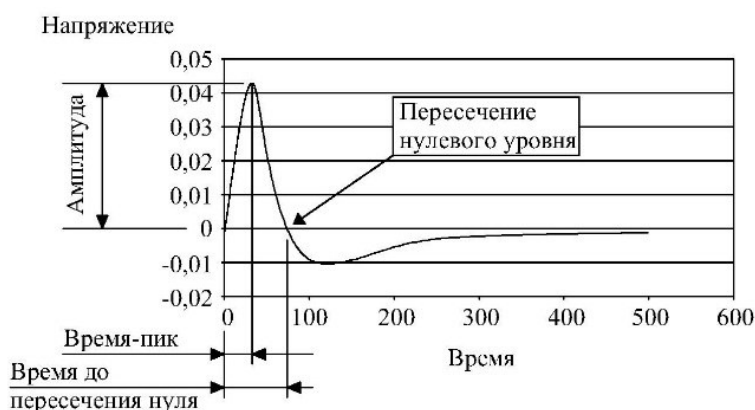


Рис. 2. Значения, полученные из сигнала ИВТ [4]

**2. Утечки магнитного поля.** Метод утечки магнитного потока (УМП) известен как один из старейших методов обнаружения коррозии и трещин еще с 1960-х годов. УМП основан на регистрации магнитных полей рассеивания, которые возникают над дефектами трубопроводов, изготовленных из ферромагнитных материалов. Данный метод позволяет определять дефекты, залегающие в ферромагнетиках на глубине не более 15 мм.

Когда трубопровод без каких-либо трещин или разрывов намагничен, подавляющее большинство линий магнитного потока завершает свой путь через материал. Если же на поверхности имеется какой-либо разрыв, в этом случае трещина или полюсы разрыва будут действовать как противоположенные полюсы, и линии магнитного потока начнут вытекать за пределы материала. Результирующая утечка магнитного потока может быть обнаружена с помощью магнитного датчика.

Качество УМП существенно зависит от способа намагничивания контролируемого объекта. Магнитное поле может быть создано прямо или косвенно на исследуемом материале.

При проверке, проводимой методом УМП, исследуемая поверхность должна быть обнаружена с высокой точностью и чувствительностью. Для этой цели обычно используются датчики Холла и индукционные катушки. Наряду с последними достижениями в технологии магнитных датчиков в этом методе используются датчики SQUID, GMR, AMR и GMI. Датчики с эффектом Холла широко используются в измерениях УМП, потому что они имеют длительный срок службы и широкие рабочие температуры (от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ). Датчики Холла имеют низкую чувствительность и не насыщаются даже в сильных магнитных полях. Наиболее распространенный тип датчиков – датчики AMR. Эти датчики с высокой насыщаемостью

при слабых магнитных полях. Зависимость датчиков GMR от температуры и частоты незначительна. Сравнение диапазона измерений магнитных датчиков приведено на рис. 3.

Как видно из рис. 3, магнитные поля менее 1 нТл могут быть измерены с помощью SQUID датчиков. Эти датчики обычно используются в исследованиях в области биомедицины. Датчики класса флюсгейт и резонанс используются для измерения значений магнитного поля, превышающий 1 нТл. Резонансные методы имеют высокое разрешение, но датчики большого размера. Индукционные датчики – это датчики меньшего размера, которые могут измеряться в том же диапазоне. Датчики AMR и GMR, которые могут измерять диапазон магнитного поля Земли, относительно недорогие. Датчики Холла используют при измерении больших магнитных полей. Индуктивные датчики могут быть предназначены для измерения очень широкого диапазона магнитных полей.

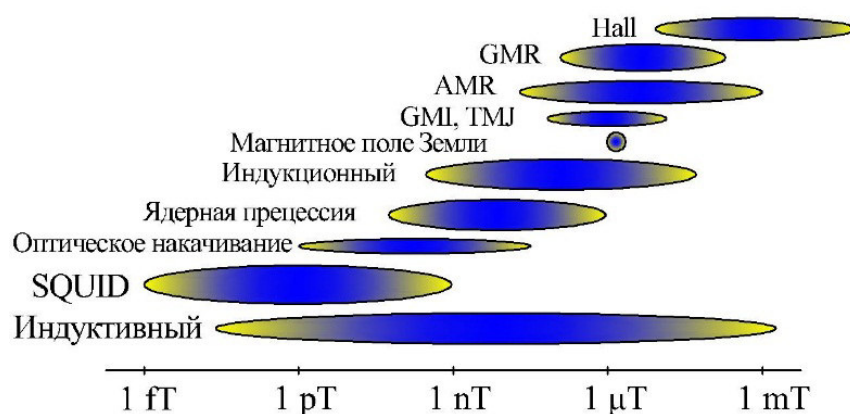


Рис. 3. Диапазоны измерения магнитных датчиков [2]

Есть два разных устройства УМП для проверки: осевой и окружной. Осевой метод УМП эффективен при выявлении окружных дефектов, но бесполезен при определении мелких дефектов, образованных вдоль трубопровода. А вот окружной метод подразумевает намагничивание трубопровода по окружности и, таким образом, используется для определения мелких дефектов, образованных в осевом направлении. У кольцевого метода вся поверхность трубы не может быть намагничена одним намагничивающим устройством. Вот почему проблему можно решить с помощью намагничивающего устройства.

**3. Ультразвуковой метод.** Для обнаружения дефектов в материале или на его поверхности возможно использовать ультразвуковые волны [5]. В промышленности металлы, как правило, проверяют ультразвуком с частотой в диапазоне от 0,5 МГц до 10 МГц. В определенных случаях для обнаружения дефектов небольшого размера обследуют волнами, имеющими частоту до 20 МГц (рис. 4).

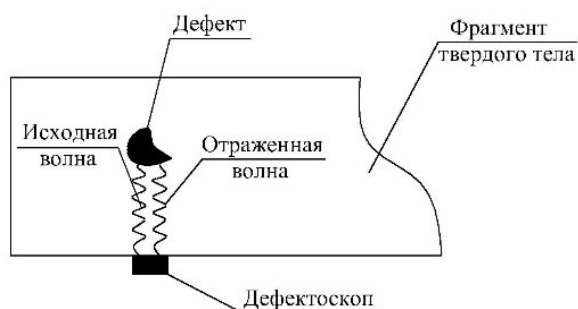


Рис. 4. Ультразвуковой метод [4]

Во время движения ультразвуковых волн в материале, они теряют энергию и отражаются от поверхностей. Отраженный звук анализируется и определяется наличие и местоположение разрыва или дефекта.

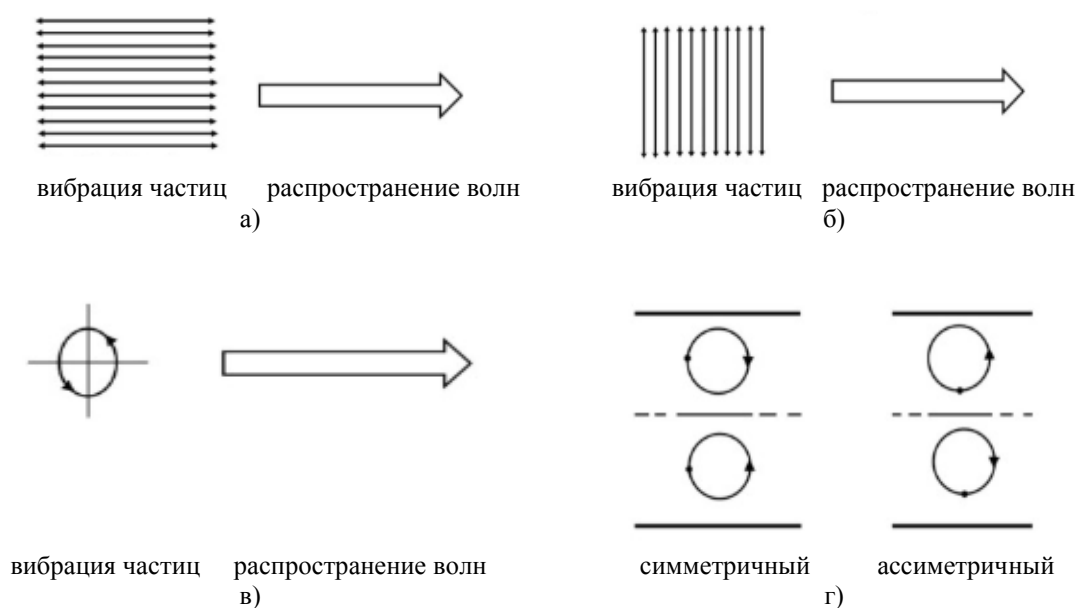
Существуют четыре типа дисперсии ультразвуковых волн: поперечные волны, продольные волны, поверхностные волны (волны Рэлея) и пластинчатые волны (волны Лэмба).

Продольные волны позволяют молекулам в материале двигаться, толкая их вперед в направлении их движения (рис.5 а). Продольные волны – это волны, используемые в ультразвуковом методе с целью определения дефектов.

В поперечных волнах движение частиц перпендикулярно направлению волны (рис.5 б). Поперечные волны обычно используются для ультразвукового контроля углового пучка (например, для определения внутренних и внешних разрывов при сварке труб).

Энергия волн Рэлея быстро уменьшается, пока они движутся вглубь от поверхности. При этом частицы движутся вместе с волной по эллиптической орбите (рис.5 в). Волны Рэлея используются для обнаружения трещин, которые находятся на открытой поверхности.

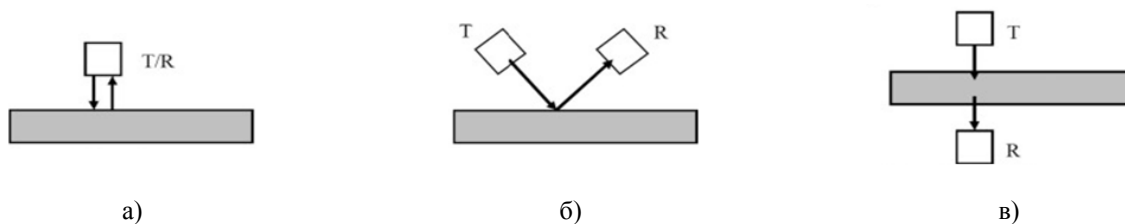
Ультразвуковая энергия распространяется в виде волн Лэмба, когда они в относительно тонких слоях. Волны Лэмба имеют кратную или переменную скорость волны в зависимости от толщины материала и его частоты. Частицы, движущиеся с волнами Лэмба, обычно совершают симметричное или асимметричное колебательное движение (рис.5 г).



**Рис. 5.** Направление вибраций частиц: а) продольные волны; б) сдвиговые (поперечные) волны; в) волны Рэлея; г) волны Лэмба [5]

Для передачи и приема ультразвука используют два способа. Первым из них является режим импульс – эхо, при котором приемник и передатчик работают на одном преобразователе. Он же является наиболее достоверным и часто применяемым. В двух других методах (уловка основного тона и сквозная передача) передатчик и приемник представляют собой два разных устройства (рис.6)

Ультразвуковые методы используются для проверки трубопроводов с целью определения толщины стенки трубы и возможных дефектов. При определении толщины стенки трубы используется скорость звука в материале ( $c$ ) и измененное время ( $t$ ) (время полета).



**Рис. 6.** Основные способы, используемые при ультразвуковом методе: а) импульс-эхо; б) уловка основного тона; в) сквозная-передача [4]

Толщина стенки трубы определяется по формуле

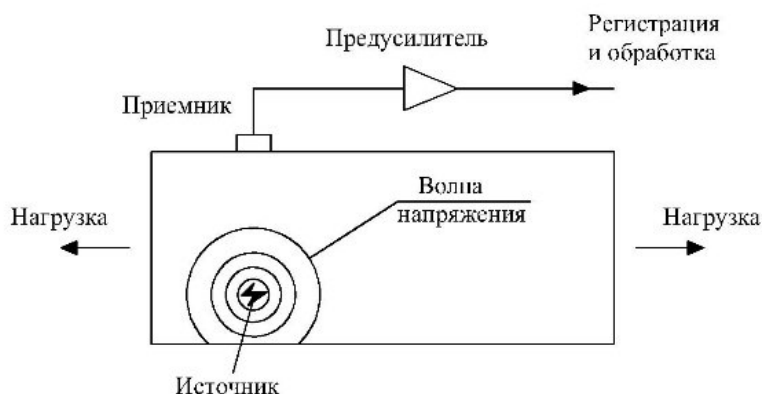
$$l = \frac{ct}{2}. \quad (2)$$

Потери металла (коррозия), выраженные утончением стенки трубы, определяется в долях ( $m$ ) по формуле

$$m = 1 - \frac{t}{t_0} = 1 - \frac{2l}{ct_0} = 1 - \frac{2(\omega - d)}{ct_0}, 0 \leq m \leq 1, \quad (3)$$

где  $t_0$  – фактическое измеренное время полета;  $\omega$  – фактическая толщина трубы;  $d$  – глубина дефекта.

**4. Метод акустической эмиссии.** Для определения наличия дефектов в материале возможно также использование метода акустической эмиссии. В отличие от ультразвуковых методов данный способ не требует применения внешних источников сигналов. При акустической эмиссии детекторы, размещенные на исследуемом материале, улавливают упругие колебания, которые генерирует сам дефект при напряжении образца. Подобно нагруженной ветки издающей специфический скрип перед тем, как поломаться, дефект передает волны напряжения датчику (рис.7). Воспринимая интенсивность этих волн, происходит получение информации о месте и размере разрыва. Если разрыв ближе к детектору, интенсивность на этом детекторе больше.



**Рис. 7.** Принцип акустической эмиссии [5]

**Вывод.** Обобщая достоинства, недостатки и принципы действия различных методов, можно сделать вывод, что для обследования трубопроводов оптимальным по своим характеристикам и широкому распространению является ультразвуковой метод обследования [6, 7], в том числе в вопросах обнаружения дефектов. Используя ультразвуковые дефектоскопы, можно добиться высокой точности обнаружения местоположения дефекта, а также осуществ-

влять контроль практически за любыми материалами. Относительно небольшие габариты приборов придают им мобильности и позволяют работать практически на любой местности [8–14].

Кроме того, исследования по использованию ультразвуковых методов обнаружения дефектов трубопроводов позволят усовершенствовать приборы и минимизировать возможность остаться незамеченными любые виды дефектов.

Заблаговременное и точное определение расположения и величин дефектов позволит определить остаточный срок службы компонентов трубопроводов и избежать экономических потерь при их выходе из строя. Новые разработки в области дефектологии позволят существенно повысить надежность диагностики.

#### Библиографический список

1. **Романова, И. В.** Проверка трубопроводов современной системой «SMART PIG» / И. В. Романова, А. А. Потапов, Г. Н. Мартыненко, В. И. Лукьяненко // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения. Труды 21-й научно-технической конференции, 2019. – С.51–57.
2. **Бондаренко, П. М.** Новые методы и средства контроля состояния подземных труб. – М. : Машиностроение. – 2001. – 179 с.
3. **Гурвич, А. К.** Неразрушающий контроль / А. К. Гурвич, И. Н. Ермолов, С. Г. Сажин // под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высшая школа, 2002. – 242 с.
4. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / ред. проф. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2003. – 636 с.
5. **Баранов, В. М.** Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса / В. М. Баранов, А. И. Гриценко, А. М. Карасевич и др. – М. : Наука, 1998. – 303 с.
6. **Мурзаханов, Г. Х.** Диагностика технического состояния и оценка остаточного ресурса магистральных трубопроводов / Г. Х. Мурзаханов, А. И. Владимиров. – М. : Национальный институт нефти и газа, 2005. – 430 с.
7. **Панов, М. Я.** Моделирование процессов оперативного управления городскими системами газоснабжения на основе дроссельных характеристик с использованием современных ультразвуковых методов замера расхода газа / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 152–156.
8. **Мартыненко, Г. Н.** Моделирование утечек газа из подземных газопроводов при авариях / Г. Н. Мартыненко, О. С. Поддубная // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1 (6). – С. 43–45.
9. **Панов, М. Я.** Алгоритм идентификации гидравлических характеристик управляемых дросселей на ветвях структурного графа абонентских подсистем / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, И. А. Дмитриев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 106–112.
10. **Алдалис, Х.** Управление системами газоснабжения с узловой схемой отбора путевой нагрузки / Х. Алдалис, М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Газовая промышленность. – 2009. – № 8 (635). – С. 75–77.
11. **Колосов, А. И.** Исследование влияния условий эксплуатации на прочностные характеристики трубопроводов систем теплогазоснабжения / А. И. Колосов, О. А. Сотникова, Г. Н. Мартыненко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 113–118.
12. **Мартыненко, Г. Н.** Применение факторного анализа для обоснования санации изношенных газопроводов / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 9 (537). – С. 110–112.
13. **Мартыненко, Г. Н.** Создание оптимального режима газопотребления по средствам оперативного управления / Г. Н. Мартыненко, С. В. Стрижко, П. А. Першин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1 (2). – С. 105–108.
14. **Панов, М. Я.** Моделирование процессов оперативного управления городскими системами газоснабжения на основе дроссельных характеристик с использованием ультразвукового расходомера «Днепр – 7» / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, В. И. Лукьяненко, Л. П. Брагина // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения Труды научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – 2011. – С. 70–75.

*Для цитирования:* **Журавлев, П. О.** Методы неразрушающего контроля трубопроводов / П. О. Журавлев, А. А. Потапов, Г. Н. Мартыненко, Д. Ю. Агапов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 27–33

УДК 620.92

## ФИНСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М. А. Долбилова, Д. О. Бугаевский, А. А. Михайлов, А. Р. Макаров

*Воронежский государственный технический университет*

*М. А. Долбилова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)218-90-25, e-mail: kirnova.ma@gmail.com*

*Д. О. Бугаевский, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*А. А. Михайлов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*А. Р. Макаров, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** В последнее время к гелиоэнергетике резко возрос интерес как в России, так и в мире. Считается, что данная отрасль перспективна только на небольшой части нашей страны. Однако в стране, с близкими климатическими параметрами, идет активное освоение солнечной энергетики.

**Результаты и выводы.** В статье рассмотрены примеры инженерных решений по применению солнечной энергетики для объектов жилищного строительства Финляндии. Проведенный анализ климатических условий и практического опыта финских коллег показал, что возможна успешная реализация солнечного энергоснабжения не только для индивидуального жилищного строительства, но и для многоквартирных домов и даже жилых микрорайонов. Аналогичные решения по использованию солнечной энергии могут быть применены на большей части территории РФ.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, потенциал, опыт развитых стран.

**Введение.** Возобновляемая солнечная энергия является одной из наиболее быстро развивающихся форм производства энергии. Последние пять–семь лет солнечные технологии демонстрируют уникальные для энергетического сектора темпы роста установленных мощностей – на уровне 30–40 % в год. По этому показателю уверенно опережает все остальные энергетические технологии.

В 2019 г. в России принята программа развития солнечной и ветроэнергетики до 2024 г. «Пять гигаватт». Запланировано, что к 2024 г. выработка электроэнергии на СЭС и ВЭС составит около 1 % от общего объема производства. По этой программе до 2024 года были выделены квоты на строительство около 5 ГВт солнечных и ветроэлектростанций. Крупнейшие отечественные и международные инвесторы проявили интерес к участию в развитии новой отрасли, и они вступили в конкурентную борьбу за право построить электростанции ВИЭ. Применение же «зеленой энергии» в частном жилищном строительстве остается не популярным, по сравнению с европейскими странами, например, такими как Финляндия.

Финляндия входит в число ведущих стран ЕС по использованию возобновляемых источников энергии вместе со Швецией, Латвией и Австрией. Сейчас в этой стране предпринимаются шаги по расширению использования возобновляемых источников энергии в соответствии с целями энергетической и климатической стратегии и Правительственной программы. Цель состоит в том, чтобы увеличить долю возобновляемой энергии в конечном потреблении энергии до уровня более 50 % в 2020–х годах (конечное потребление отличается от

общего потребления вычитанием потерь при передаче и преобразовании энергии) [5]. Ниже приведены примеры использования возобновляемых источников энергии в жилищном строительстве Финляндии.

**1. Вилла Solbrantenin.** Икона финского экодома, который до сих пор является свежим и своевременным примером. Архитектура дома (рис. 1) основана на энергоэффективности, пассивном и активном использовании солнечной энергии. Помещения сгруппированы в зонах нагрева вокруг каминов и аккумуляции тепла, которые служат тепловым ядром. Гостиная находится на южной стороне, а кухня, спальни, кладовая и рабочие зоны находятся в буферной зоне на севере. Дом обращен к солнцу: окна и солнечные панели на южной стене, а на северной стороне стены располагаются под крышей на севере, укрытой зимой снежным покрывалом. Порядка 40 видов растений растут на крыше.

Доля покупной энергии, используемой зданием, очень низкая. Тепло от каминов и солнечных коллекторов накапливается в десяти кубовом нагревателе в центре дома. Потребление тепловой энергии составляет 36 кВтч / м<sup>2</sup> / год, а общее потребление энергии – 65 кВтч / м<sup>2</sup> / год.



**Рис. 1.** Вилла Solbrantenin, архитектор Бруно Эрат, 1978 [2]

Несмотря на то, что прошло более 40 лет, данный жилой дом соответствует современным требованиям энергоэффективности для г. Воронежа с запасом почти в два раза (67 кВт / м<sup>2</sup> при расчетной температуре минус 25 °С).

**2. Жилой дом As Oy Helsinki Salvia.** Дом As Oy Helsinki Salvia (рис. 2), спроектированный архитектором Рейо Жаллиной, является первым многоквартирным домом на солнечной энергии в Финляндии.



**Рис. 2.** Жилой дом AS OY HELSINGIN SALVIA архитектор Рейо Джаллиной, 2003 [2]

В здании солнечные батареи размещены на балконах. Фотоэлектрическая панель площадью 240 квадратных метров вырабатывает около 10 МВт·ч электроэнергии в год, покрывая четверть электроэнергии в здании (оборудование, общественное освещение, лифты, общая сауна жилого дома). Солнечные панели разделены на две зоны по 12 кВт, одна из которых обращена на юг, а другая – на запад. Панели находятся в вертикальном положении, поэтому они максимально эффективно используют слабое излучение в зимнее время.

Включение солнечных панелей в архитектуру здания было сделано оригинально: солнечные элементы заменяют стеклянные балконные ограждения.

**3. Дом отдыха Luukku-talo.** Деревянный дом для отдыха с нулевой энергией для ярмарки жилья Mäntyhärju Holiday (рис. 3). Имеет дышащие конструкции и механическую вентиляцию с эффективной рекуперацией тепла. Один из первых домов с нулевым потреблением энергии в Финляндии: вырабатывает столько энергии (8700 кВт·ч), сколько использует солнце (60 м<sup>2</sup> фотоэлектрических панелей и 5 м<sup>2</sup> солнечных панелей) в год.



**Рис. 3.** Дом отдыха LUUKKU-TALO, Университет Аалто, Деревянное строительство, 2009 [2]

Разработанный и построенный студентами Университета Аалто, полностью переоборудованный мобильный дом Luukku House принял участие в десятом конкурсе по экологичному строительству европейских университетов Solar Decathlon Europe 2010 в Мадриде. Luukku House выиграл архитектурный конкурс и занял пятое место в общем зачете. В финских условиях дом работает как дом с нулевым потреблением энергии, а в Мадриде - как дом с дополнительным энергопотреблением.

**4. Жилой район Pokkaanpuisto.** Koivistonkylä, жилой район в Pokkaanpuisto (рис. 4), строительство которого начнется в 2020 году. Энергоснабжение этого района будет осуществляться от солнечной электростанции, расположенной за его пределами. Это концепция, основанная на дистанционном производстве энергии, является новой в Финляндии и в Европе. Согласно этой концепции, жилищные компании владеют солнечной электростанцией, которая производит возобновляемую энергию для жилых комплексов. Такое принципиально новое решение по энергоснабжению стало возможным после вступления в силу 1 января 2018 года Постановление Министерства окружающей среды об энергоэффективности нового здания позволяющее использовать внешнюю, возобновляемую энергию в расчете энергоэффективности здания.

В общей сложности запланировано строительство 62 домов, занимаемых владельцами, площадью от 25 до почти 100 кв. В квартирах высокие оконные поверхности, огромные застекленные балконы и полы с подогревом. Жилые дома оснащены электронными дисплеями, которые позволяют любому, кто интересуется энергоэффективностью и экономией энергии, контролировать потребление.

Строительство солнечной электростанции для домов планируется начать весной 2020 года. Размеры электростанции будут расширяться по мере строительства новых домов в парке Илоккаанпуисто в Койвистонкиля.



Рис. 4. Многоквартирные дома парка Илоккаанпуисто, 2020 [3]

В данном проекте электроэнергия, вырабатываемая солнечной электростанцией, подается в распределительную сеть местной энергетической компании, то есть электростанция Тампере действует как хранилище электроэнергии, из которого здания нового жилого района забирают электричество, когда это необходимо. Фотоэлектрическая электростанция требует минимального обслуживания – после строительства она будет работать практически самостоятельно.

Парк Илоккаан – интересный проект, который дает совершенно новый взгляд на строительство с нулевым потреблением энергии, которое не достигается путем добавления изоляции или использованием возобновляемой энергии на самом участке строительства.

**Выводы.** Технологии ВИЭ все в большем количестве стран начинают конкурировать с традиционной генерацией. Доля возобновляемой энергетики в общем энергобалансе России менее 1 %, в то время как в Финляндии в 2018 году возобновляемые источники энергии произвели 37 % электроэнергии [5].

Финны считают, что их климатические условия довольно хорошо подходят для использования солнечной энергии [3]. При этом на юге Финляндии солнце излучает около тысячи киловатт-часов на квадратный метр в год, а в центральной Финляндии количество радиации составляет около 900 кВт·ч. В России же широко распространено мнение, что у нас солнца нет. В действительности инсоляция на 70 % территории нашей страны отлично подходит для развития солнечной энергетики. Причем это не только южные регионы, но и большая часть центральной России, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Например, в Воронежской, Челябинской, Новосибирской области и Хабаровском крае солнечная электростанция с правильным углом наклона выдаст порядка 1150 кВт·ч на 1 киловатт установленной мощности в год. В Ростовской области, Краснодарском крае или на Дальнем Востоке этот показатель уже 1300 кВт·ч на 1 кВт, что сопоставимо с Болгарией, Испанией и Францией.

Правительство РФ создает условия для развития нетрадиционной энергетики. Помимо программы «Пять гигаватт» в 2019 году в Госдуме в первом чтении был принят законопроект, разрешающий частным владельцам солнечных панелей сдавать излишки полученной электроэнергии. Так же группа ученых [7–10] из Санкт-Петербурга в феврале 2020 предложила и экспериментально опробовала технологию создания высокоэффективных солнечных батарей на основе полупроводниковых соединений на кремниевой подложке. Исходя из вышеизложенного, видно, что на сегодняшний день мы обладаем благоприятными климатическими условиями, успешным опытом европейских коллег, разработками отечественных учё-

ных, поддержкой правительства, но в своей практической реализации солнечная энергетика сталкивается с нежеланием со стороны тех, кто отвечает за исполнение: проектировщиков и монтажников. Для устранения данной проблемы необходимо повышать компетентность технических специалистов, знакомя их технологиями и объектами современной энергетике за рубежом [11–17].

#### Библиографический список

1. **Зайченко, В. М.** О развитии солнечной энергетике в мире и в России / В. М. Зайченко, В. Д. Панченко, А. А. Чернявский // СОК. – 2018. – № 4. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/o-razvitiu-solnechnoy-energetiki-v-mire-i-v-rossii> (дата обращения: 10.03.2020).
2. Suomen Arkkitehtiiliiton kestävä rakentamisen tietosivut. Uusiutuvat energiamuodot rakennetussa ympäristössä [Электронный ресурс]. URL: <http://eko-boxi.safa.fi/eko-boxi/uusiutuvat-energiamuodot-rakentamisessa/esimerkkikohteet> (дата обращения: 10.03.2020).
3. Tuotantomuodot. Aurinkovoima [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima> (дата обращения: 10.03.2020).
4. Kerrostalot Koivistonkylässä lämpiävät Teiskon auringolla [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tampereilainen.fi/artikkeli/768759-kerrostalot-koivistonkylassa-lampiavat-teiskon-auringolla> (дата обращения: 10.03.2020).
5. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [Электронный ресурс]. URL: [http://www.stat.fi/til/ehk/2018/ehk\\_2018\\_2019-12-12\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehk/2018/ehk_2018_2019-12-12_tie_001_fi.html) (дата обращения: 10.03.2020).
6. **Кирнова, М. А.** Аккумуляция теплоты в геологических системах теплоснабжения с твердым аккумуляющим материалом / М. А. Кирнова, О. А. Сотникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 155–159.
7. **Dvoretckaia, L. N.** GaNP-based photovoltaic device integrated on Si substrate / Liliia N.Dvoretckaia, Alexey D.Bolshakov, Alexey M.Mozharov, Maxim S.Sobolev, Demid A.Kirilenko, Artem I.Baranov, Vladimir Mikhailovskii, Vladimir V.Neplokh, Ivan A.Morozov, Vladimir V.Fedorov, Ivan S.Mukhin // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2020. – V 206.
8. **Щукина Т. В.** Комбинированные солнечные модули и надежность систем жизнеобеспечения / Т. В. Щукина, А. К. Тарханов, Д. М. Чудинов // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2014. – № 1 (145). – С. 82–85.
9. **Чудинов, Д. М.** Обеспечение необходимого уровня энергоактивности солнечных систем, проектируемых для регионов Российской Федерации / Д. М. Чудинов, О. А. Сотникова, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. № 3. – С. 74.
10. **Сотникова, О. А.** Оценка ресурсов солнечной энергии для проектирования геологических установок / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – № 4. – С. 56–60.
11. **Сотникова, О. А.** Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина // Промышленная энергетика. – 2008. – № 6. – С. 50–51.
12. **Сотникова, О. А.** Экономическая эффективность использования солнечных систем горячего водоснабжения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2007. – № 2. – С. 88.
13. **Петров, С. А.** Альтернативные источники энергии для частных коттеджей / С. А. Петров, С. Г. Тульская, Е. В. Забудько // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 1 (10). – С. 32–38.
14. **Тульская, С. Г.** Индивидуальные солнечные коллекторы / С. Г. Тульская, А. М. Максименко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 22–26.
15. **Попова, Н. М.** Оценка коэффициента замещения при вариации конструктивных параметров солнечной системы теплоснабжения / Н. М. Попова, С. Ю. Чернышов, С. А. Петров // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 2 (3). – С. 9–12.
16. **Петрикеева, Н. А.** Пути снижения энергопотребления зданиями / Н. А. Петрикеева, А. Н. Садовников, А. В. Никулин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1. – С. 13–17.
17. **Гладышева, Т. Ю.** Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 2 (23). – С. 14–21.

*Для цитирования:* **Долбилова, М. А.** Финский опыт применения солнечной энергетике в жилищном строительстве / М. А. Долбилова, Д. О. Бугаевский, А. А. Михайлов, А. Р. Макаров // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 34–38

УДК 621.039.58

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Д. Ю. Шафеев, Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов, Ю. Г. Шипилова

*Воронежский государственный технический университет*

*Д. Ю. Шафеев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (960) 108-92-13, e-mail: dshafeev@yandex.ru*

*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*

*М. Я. Панов, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*Ю. Г. Шипилова, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

**Постановка задачи.** Подземные коммуникации, в том числе стальные газопроводы, в условиях плотной городской застройки подвергаются различным агрессивным воздействиям. Например, блуждающие токи, коррозионная агрессивность грунта, анодные и знакопеременные зоны, корни деревьев и т.д. Немалую роль в процесс разрушения изоляции вносит и хозяйственная деятельность человека. В целях предотвращения повреждения изоляции, коррозии и как следствие – утечки газа, необходимо своевременно обследовать подземные газораспределительные сети на предмет целостности изоляции и герметичности.

**Результаты.** Рассмотрено проведение приборного обследования различными типами приборов – ГИВ-М, АНТПИ-2, Snooper mini, Прогресс ФК-01, Сталкер 75–04, проведено сравнение эффективности использования приборов различных модификаций. Сделаны выводы об оптимальном режиме проведения приборного обследования, а также о наиболее эффективном приборе.

**Выводы.** Приборное обследование городских газораспределительных сетей помогает предотвратить аварии на сетях газораспределения, а также продлить срок эксплуатации газораспределительной сети. Наиболее эффективно проведение обследования приборами последнего поколения. Использование этих приборов позволяет обследовать большую протяженность подземных газопроводов, при этом благодаря прекрасной эргономике и визуализации всех параметров измерений прибор Прогресс ФК-01 позволяет проводить проверку сплошности изоляции одним оператором и стабильно работает в зимних условиях при температуре минус – 20 °С.

**Ключевые слова:** газопровод, коррозия, приборное обследование, газораспределение, утечка, прибор.

**Введение.** Сети газораспределения являются важной составляющей городской инфраструктуры. От их надежного и бесперебойного функционирования зависит безопасность и жизнеспособность городских предприятий, газоснабжение населения. Эффективным способом борьбы с коррозией являются меры по противокоррозионной защите стальных подземных газопроводов и сооружений на них. При длительной эксплуатации сетей газораспределения в условиях городской застройки одним из действенных методов предотвращения повреждения изоляции и, как следствие, предотвращения утечек газа является проведение приборного обследования городских газораспределительных сетей. Приборное обследование помогает предотвратить аварии, а также продлить срок эксплуатации газораспределительной сети. Для проведения комплексного приборного обследования различными методами используется многочисленный спектр современных приборов.

**1. Виды коррозии, выбор методов защиты от коррозии.** Коррозия может быть различных видов. К видам коррозионного воздействия окружающей среды на стальные подзем-

ные газопроводы относятся: атмосферная коррозия, коррозия почвенная, биокоррозия, коррозия, вызываемая блуждающими токами. Электрическое сопротивление грунта, средняя плотностью катодного тока, наличие или отсутствием биокоррозии - вот те факторы, которые определяют коррозионную агрессивность воды и почвы по отношению к стальным подземным газопроводам. Коррозионная агрессивность грунта считается низкой при значении удельного электрического сопротивления грунта свыше 50 Ом·м и средней плотности катодного тока менее 0,05 А/м, средней – при значении удельного электрического сопротивления грунта от 20 до 50 Ом·м и средней плотности катодного тока от 0,05 до 0,2 А/м и высокой при значении удельного электрического сопротивления грунта менее 20 Ом·м и средней плотности катодного тока свыше 0,2 А/м. В грунтах низкой и средней коррозионной агрессивности при отсутствии блуждающих токов стальные трубопроводы должны быть защищены изоляционными покрытиями «усиленного типа» (допускается применение покрытий из экструдированного полиэтилена «усиленного типа» с обязательным применением электрохимической защиты (ЭХЗ)); в грунтах высокой коррозионной агрессивности или при наличии опасного влияния блуждающих токов – защитными покрытиями «весьма усиленного типа» с обязательным применением средств ЭХЗ. Применение ЭХЗ обязательно при прокладке трубопроводов в грунтах с высокой коррозионной агрессивностью (защита от почвенной коррозии), а также при наличии опасного влияния постоянных блуждающих и переменных токов [1].

**2. Техническое обследование газопроводов приборным методом.** Наружные газопроводы подвергаются периодическому приборному обследованию, включающему для стальных газопроводов – выявление мест повреждений изоляционного покрытия и утечек газа, для полиэтиленовых – только выявление мест утечек. Приборное обследование технического состояния наружных газопроводов проводится не реже одного раза в 5 лет – для надземных и подземных стальных газопроводов, одного раза в 3 года – для переходов газопроводов через судоходные водные преграды. Газопроводы, требующие капитального ремонта или включенные в план на замену, подвергаются приборному техническому обследованию ежегодно. Организация, эксплуатирующая подземные газопроводы разрабатывает графики проведения приборного обследования и определяет сроки его проведения в зависимости от давления в газопроводах. Обычно приборное обследование проводится в теплое время года, при талом грунте в сухую погоду, в соответствии с требованиями паспортов заводов – изготовителей на используемые приборы [2].

Операторы, проводящие приборное техническое обследование газопроводов, должны иметь маршрутные карты. Перед выездом на объект должна быть проверена готовность приборов к работе. Аппаратура должна обеспечивать обследование состояния изоляционного покрытия газопроводов под любыми видами дорожных покрытий и грунтов без их вскрытия, а также определять местоположение и глубину заложения газопроводов [1, 3].

При обследовании изоляции аппаратура должна обслуживаться двумя операторами, которые перемещаются вдоль трассы газопровода. Величина сигнала определяется разностью потенциалов на поверхности земли, которые образуются прохождением переменного тока по цепи (генератор – труба – изоляция – земля – заземлитель – генератор). В месте повреждения изоляции переходное сопротивление труба-земля уменьшается, и на поверхности земли потенциал будет иметь повышенное значение. Увеличение потенциала будет тем значительнее, чем больше повреждение. Оценка разности потенциалов производится без контакта с грунтом, при этом в качестве электродов используется собственная емкость операторов относительно земли. В процессе обследования изоляции первый оператор должен перемещаться вдоль трассы газопровода со специальной изолированной потенциалосъемной пластиной, соединенной с приемником проводом длиной 4 м, при этом руки оператора должны быть прижаты к туловищу. Второй оператор перемещается вдоль трассы с приемником в руках. В процессе обследования изоляции скорость перемещения операторов должна быть не более

0,5 м/с. При обследовании изоляции газопровода применяться два метода расположения электродов относительно его оси: параллельное и перпендикулярное [2].

Приборное обследование можно проводить различными приборами. Рассмотрим некоторые из них более подробно:

а) аппаратура нахождения трасс и повреждений изоляции АНТПИ–2. Аппаратура (рис. 1) предназначена для проверки изоляции подземных газопроводов (определение наличия электрического контакта труба-земля и его местонахождения), определения трассы подземных газопроводов и спутника полиэтиленовых газопроводов, местонахождения смежных коммуникаций (электрический кабель, водопровод, теплотрасса и др.). Связь генератора с газопроводом: гальваническая, индуктивная. Типы датчиков приёмника: емкостные, штыревые электроды, катушка индуктивной связи [4]. К особенностям АНТПИ–2 относятся увеличение мощности и получение оптимального согласования генератора с нагрузкой, улучшение соотношения сигнал/шум и радиус действия, звуковая индикация по изменению частоты сигнала, позволяющая исключить паразитную связь при работе с наушниками и повысить стабильность усилителя в приёмнике. Обеспечивается непрерывный контроль напряжения на аккумуляторной батарее генератора и контроль переменного тока в нагрузке. Так же присутствует автоматическое переключение источника питания с внутреннего на внешний, генератор прибора вырабатывает переменное напряжение мощностью 70 Вт. Магнитный поток, индуцируемый током генератора, используется для локации при трассировке подземных сооружений, а напряжение генератора – для обнаружения мест повреждения изоляции по характеру токов утечки на поверхности грунта над исследуемыми объектами. Питание генератора осуществляется от источника постоянного тока с номинальным напряжением 12 В. В состав генератора входит микроконтроллер с цифровым индикатором, управляемый при помощи кнопок.



Рис. 1. Аппаратура нахождения трасс и повреждений изоляции АНТПИ–2 [4]

Практические наблюдения показали, что АНТПИ–2 надежен и неприхотлив в использовании, позволяет опытному оператору находить ось газопровода в незастроенной части города на расстоянии до 4 км от места подключения. Выявлены недостатки в виде плохой чувствительности приемника при поиске нарушений изоляции на асфальтобетонном покрытии при высоких температурах воздуха и частые ложные срабатывания по изоляции при бесконтактном методе. Из недостатков можно отметить обязательный непосредственный контакт оператора с электродом при поиске нарушений изоляции, что может в некоторых случаях привести к поражению электрическим током.

б) газоиндикатор высокочувствительный ГИВ-М. Предназначен для контроля герметичности подземных и наружных газопроводов. Газоиндикатор состоит из блока индикации, пробозаборника и зарядного устройства (рис. 2). Входящий в газоиндикатор ГИВ-М адсорбирующий фильтр обеспечивает избирательность по сопутствующим компонентам (углеводороды тяжелее метана, СО, СО<sub>2</sub>, пары бензина и масел) не менее, чем на 20 дБ. Обнуление производится полуавтоматически, отбор пробы принудительный. Условия эксплуатации газоиндикатора ГИВ-М соответствуют климатическому исполнению У1 ГОСТ 15150-69, для работы при температурах –20...+40 °С и относительной влажности до 80 % при температуре 15 °С [5].



Рис. 2. Газоиндикатор высокочувствительный ГИВ-М [5]

Прибор в работе демонстрирует оперативное включение и выключение и быстроту производимых операций, хорошую чувствительность, долгую работу от одного заряда аккумулятора. Недостаток – большой вес и весьма ненадежный двигатель микронасоса в пробозаборнике.

в) трассопоисковый комплекс (трассоискатель) Сталкер 75-04. Комплект служит для определения глубины залегания скрытых коммуникаций и мест повреждения изоляции трубопроводов [6]. Трассировка и диагностика состояния подземных коммуникаций основана на принципах электромагнитной индукции. В комплект поставки «Сталкер 75-04» входит генератор ГТ-75 и приемник ПТ-04 (рис. 3).

Общие особенности трассопоискового комплекса:

- ✓ работа в экстремальных условиях при температуре до –30 градусов;
- ✓ привязка к глобальной системе координат;
- ✓ беспроводная связь с ПК;
- ✓ функция «живой звук» позволяет оператору на слух определить тип коммуникации;
- ✓ дальность поиска до 10 км обеспечивает мощный генератор ГТ-75;
- ✓ высокая селективность позволяет максимально отстроиться от помех;
- ✓ общие особенности комплекта Сталкер 75-04:
- ✓ высокая скорость фильтрации;
- ✓ поиск коммуникаций на глубине до 6 м и удалении до 10 км от места подключения генератора;
- ✓ наличие четырех рабочих частот и регулируемая выходная мощность позволяет наиболее эффективно обнаружить трассу, найти место повреждения изоляции и отстроиться от помех;

- ✓ датчик контроля изоляции А-рамка и ДКИ–02 позволяют искать повреждения в местах с большой плотностью коммуникаций, бесконтактный датчик контроля изоляции ДКИ–Е позволяет определить место повреждения в условиях мерзлого грунта и под асфальтом;
- ✓ оптическая и звуковая индикация;
- ✓ питание приёмников от съёмного аккумулятора или от 5 элементов питания типа АА;
- ✓ встроенное зарядное устройство;
- ✓ влагозащищенный, ударопрочный корпус (IP42).

Сталкер 75–04 имеет мощный 75 Вт генератор, который совместим с другими приборами по радиочастотам, а значит универсален. Надежен при многолетней эксплуатации, в руках опытного специалиста всегда демонстрирует качественные результаты как по трассировке, так и по поиску нарушений изоляции подземных газопроводов. Из недостатков отметим, что качество выделенного полезного сигнала и показания прибора обратно пропорциональны количеству сторонних коммуникаций.



**Рис. 3.** Трассопоисковый комплекс (трассоискатель) СТАЛКЕР 75–04 [6]

г) детектор утечек газа SNOOPER mini. Прибор SNOOPER mini (рис. 4) с подвижным гибким зондом, длиной 22 см является надежным детектором утечек газа из подземных газопроводов. Утечки определяются путем обнаружения их в точках соединения, например, фитингов, фланцев, резьбовых соединений и арматуры газового регулятора. В целом, использование детекторов наиболее эффективно по сравнению с другими методами, поскольку помимо наличия утечки они показывают и концентрацию газа. Кроме того, при проверке старых домовых коммуникаций, применение детектора более эффективно, поскольку не всегда удается найти действующую утечку газа из-за загрязнения труб. Поврежденный участок довольно просто найти с помощью детектора и в последующем отремонтировать, определить загазованность путем обследования места соединения трубопроводов с фитингами, фланцами, винтовым креплением, регулирующей газовой арматуре и т.п. Проверка возможна для газопроводов, проложенных под землей, в местах выхода газа, в месте подключения дома к газораспределительной сети. Итак, SNOOPER mini доступен пользователю в нескольких вариантах: с сенсорами на метан или пропан и с калибровкой на водород, что делает прибор более универсальным в применении. SNOOPER mini в качестве детектора с калибровкой на водород может легко обнаружить утечку в водопроводных трубах, клапанах и других про-

мышленных объектах с использованием трассировочного газа. Прибор автоматически указывает пользователю посредством подачи сигнала о повышенной концентрации газа [7–10].



Рис. 4. Детектор утечек газа SNOOPER mini [7]

Прибор очень компактен и удобен в работе, в реальных условиях быстро срабатывает на утечки на подземном газопроводе даже с поверхности асфальтового покрытия.

д) поисково-диагностический комплекс прогресс ФК–01. Поисково-диагностический комплекс Прогресс ФК–01 (рис. 5) предназначается для поиска любых подземных коммуникации (трубопроводы, силовые кабели), определения их траектории заложения, глубины залегания и обнаружения повреждений и диагностики состояния изоляционного покрытия подземных газопроводов. Преимущества поисково-диагностического комплекса Прогресс ФК–01:

- ✓ автоматический поиск оси трассы металлической коммуникации, силовых кабелей, труб с катодной защитой, а также ось трассы неметаллической коммуникации, при наличии в ней токопроводящей жидкости или поисковой струны;
- ✓ анализ состояния изоляции трубопровода или силового кабеля с определением степени разрушения изоляционного покрытия;
- ✓ непрерывное, автоматическое определение силы тока, протекающего по коммуникации в реальном времени;
- ✓ возможность поиска сразу двух близко расположенных коммуникаций, при условии, что одна трасса находится под действием тока промышленной частоты;
- ✓ запись результатов поисковых работ в память ФК-01 и последующего переброса их в ПК для графического анализа картины повреждений и их документирования;
- ✓ анализ и документирование результатов работ с привязкой координатам на местности, используя встроенный модуль систем глобального позиционирования в стандартах ГЛОНАСС и GPS.

Принцип работы ФК–01 при определении трассы и глубины залегания подземной коммуникации базируется на индуктивном методе, заключающемся в улавливании приемником магнитного поля от кабеля или трубопровода, которое создается током генератора.

Принцип работы ФК–01 при определении мест повреждения изоляции трубопровода состоит в том, что на поверхности земли по трассе коммуникации специальной антенной приемника улавливаются поля от токов утечки, напряженность которых зависит от степени повреждения изоляции. После анализа и обработки процессором эти данные выводятся на дисплей и могут быть записаны в память приемника для дальнейшего анализа. Подключение комплектного генератора Прогресс ФК–01 к коммуникации можно производить в любом удобном месте. Для трубопровода это может быть контрольный проводник, фланец или задвижка в колодце, для кабеля – выход его на поверхность или на распределительной под-

станции. Управление генератором – включение и выключение, настройка частоты, подача и снятие сигнала с трассы производится валкодером-аналогом компьютерной мыши. Поиск трассы, находящейся под действием тока промышленной частоты 50 Гц или катодной защиты 100 Гц, возможен непосредственно по излучаемому трассой сигналу без применения генератора, используя только приемник (режим промышленных частот) [8].



Рис. 5. Поисково-диагностический комплекс Прогресс ФК–01 [8]

Прогресс ФК–01 относится к цифровым приборам, что дает преимущества над аналоговыми образцами. Также преимуществом прибора является применение его в работе одним оператором именно бесконтактным методом. При этом второй оператор может работать по плотности, что ускоряет процесс обследования. Прогресс ФК–01 имеет информативный дисплей, который позволяет одновременно видеть параметры трассы: направление, ось, глубину, соседние коммуникации, уровень сигнала и тока на трассе и может выдавать голосовые сообщения о степени нарушения изоляции. Это также значительно увеличивает качество и скорость проведения обследования. Из недостатков отмечается заторможенность встроенного процессора в режиме поиска нарушений изоляции и засветка дисплея при ярком дневном свете.

**Вывод.** При тестировании на местности с большой плотностью коммуникаций Прогресс ФК-01 по сравнению с прибором Сталкер75–04 выигрывает у последнего по всем показателям, особенно при поиске оси газопровода. Прогресс ФК–01 удобен и прост в эксплуатации и в условиях плотной городской застройки надежно фиксирует повреждения изоляции и гораздо точнее аналогов находит ось газопровода в местах скопления сторонних коммуникаций и сильных промышленных помех. Проведённые исследования показали, что все приборы, рассмотренные в представленной работе, подходят для решения задач по обследованию подземных газопроводов в различных условиях. Работая с различной точностью, они обследуют межпоселковый газопровод при отсутствии зданий и сооружений или городскую распределительную сеть в густой городской застройке. Однако, приборостроение не стоит на месте, преимущества в работе по поиску и выявлению нарушений в подземных газовых коммуникациях получают более новые приборы, основанные на современных технологиях [11–20]. Соответственно обеспечивается лучшая безопасность газовых сетей. Наиболее оптимальным и эффективным прибором в условиях климатической зоны Воронежской области оказался поисково-диагностический комплекс Прогресс ФК–01.

#### Библиографический список

1. РД 153-39.4-091-01 Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. – Введ. 2002-02-01. – М. : изд-во стандартов, 2002. – 89 с.

2. **ГОСТ Р 54983.** Сети газораспределения. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация. – Введ. 2013-01-01. – М. : изд-во стандартов, 2012. – 78 с.
3. **ГОСТ 9.602-2016.** Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – Введ. 2017-06-01. – М. : изд-во стандартов, 2016. – 88 с.
4. Торговый дом «Автоматика» [Электронный ресурс]. URL: <https://td-automatika.ru> (дата обращения: 13.02.2020).
5. Группа компаний «Гранат» [Электронный ресурс]. URL: <http://granat-e.ru/giv-m.html> (дата обращения: 10.02.2020).
6. Комплекс трассопоисковый «Сталкер» 75–04 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.radio-service.ru/catalog/trassoiskateli/stalker-75-04> (дата обращения: 10.02.2020).
7. Радиком–Воронеж. Детектор утечек газа [Электронный ресурс]. URL: [http://radikom.ru/t\\_354551724\\_snooper\\_mini\\_-\\_detektor\\_utechek\\_gaza.html](http://radikom.ru/t_354551724_snooper_mini_-_detektor_utechek_gaza.html) (дата обращения: 10.02.2020).
8. Газ Фарматэк. Трассопоисковая система «Прогресс» ФК-01 [Электронный ресурс]. URL: <http://gaz-farmek.ru/poiskovo-diagnosticheskii-kompleks/poiskovyi-kompleks-progress> (дата обращения: 10.02.2020).
9. **Панов, М. Я.** Оперативное управление городскими системами газоснабжения с использованием современных ультразвуковых методов замера расхода газа / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 100–106.
10. **Панов, М. Я.** Алгоритм идентификации гидравлических характеристик управляемых дросселей на ветвях структурного графа абонентских подсистем / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, И. А. Дмитриев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 106–112.
11. **Мартыненко, Г. Н.** Анализ существующей схемы управления газопотоками в городских системах газоснабжения и перспективы ее развития в рамках оперативного управления / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2005. – № 2. – С. 23–26.
12. **Мартыненко, Г. Н.** Оптимальный синтез гидравлических трубопроводных систем в области оперативного управления / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов, В. И. Щербаков, И. П. Давыдова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 2 (542). – С. 78–83.
13. **Алдалис, Х.** Формирование математической модели оперативного управления функционированием систем газоснабжения с использованием узловой схемы отбора путевой нагрузки / Х. Алдалис, М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 75–80.
14. **Панов, М. Я.** Использование системы Matlab для моделирования процесса управления функционированием систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, В. В. Ухлова, А. И. Колосов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 239–243.
15. **Лукьяненко, В. И.** Оперативное управление функционированием городских систем газоснабжения / В. И. Лукьяненко, Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения Труды научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – 2012. – С. 89–94.
16. **Панов, М. Я.** Многофакторный анализ городских систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Газовая промышленность. – 2003. – № 4. – С. 38–39.
17. **Панов, М. Я.** Оперативное управление функционированием городских систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, Х. Алдалис // Энергосбережение. – 2009. – № 2. – С. 40.
18. **Алдалис, Х.** Разработка новой схемы газораспределения и управления функционированием городских систем газоснабжения низкого давления / Х. Алдалис, М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 28–36.
19. **Гудаков, Н. И.** Система коммерческого учета расхода газа частными потребителями с использованием новейших технологий / Н. И. Гудаков, С. А. Рогачёва, И. А. Здобников, Г. Н. Мартыненко // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения Труды 21-й научно-технической конференции. – 2019. – С. 63–66.
20. **Сотникова, О. А.** Рациональное послеаварийное восстановление систем теплоснабжения / О. А. Сотникова, Н. В. Колосова, Д. Н. Шабанов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2 (3). – С. 121–124.

*Для цитирования:* **Шафеев, Д. Ю.** Выбор оптимальных приборов и методов обследования подземных газопроводов / Д. Ю. Шафеев, Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов, Ю. Г. Шипилова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 39–46

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

---

---

УДК 625.712.1

## МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ДОСТОВЕРНОСТИ УРАВНЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А. Н. Клоян, А. М. Бургонутдинов, Г. Б. Лялькина

---

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

*А. Н. Клоян, аспирант кафедры автомобильные дороги и мосты*

*Россия, г. Пермь, тел.: +7(950)465-80-42, e-mail: Anyutka.sh@mail.ru*

*А. М. Бургонутдинов, д-р техн. наук, доц. кафедры автомобильные дороги и мосты*

*Россия, г. Пермь, тел.: +7(342)239-10-82, e-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru*

*Г. Б. Лялькина, д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры безопасности жизнедеятельности*

*Россия, г. Пермь, тел.: +7(342)241-05-67, e-mail: bg@pstu.ru*

---

**Постановка задачи.** Рекомендациями по проектированию автомобильных дорог предлагается методика по определению степени аварийности на кольцевых пересечениях. Выдвинуто предположение, что предложенное уравнение регрессии может не учитывать особенностей проектирования кольцевых пересечений, климатических условий, а также манеру вождения в Российской Федерации.

**Результаты.** В работе представлена поэтапная методика проверки достоверности уравнения регрессии для оценки уровня аварийности на участках подхода к кольцевому пересечению на основании строгих статистических методов.

**Выводы.** Разработанная методика позволяет оценить достоверность уравнения регрессии, описывающего нахождения уровень аварийности на участках подхода к кольцевому пересечению в условиях Российской Федерации.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, степень аварийности, современные кольцевые пересечения, достоверность уравнения регрессии.

**Введение.** Проблема снижения аварийности на автомобильных дорогах актуальна во всем мире [1–5]. В рамках последнего доклада Всемирной Организации Здравоохранения было подчеркнуто, что дорожно-транспортные происшествия являются основной причиной человеческих жертв в возрасте от 15 до 25 лет. Повышение безопасности дорожного движения, направленное на сохранение жизни и здоровья людей, является основным приоритетом транспортной политики Российской Федерации [4].

Основной процент дорожно-транспортных происшествий приходится на пересечения автомобильных дорог, как мест концентрации наибольшего количества конфликтных ситуаций. В процессе изучения мировой практики относительно способов повышения безопасности дорожного движения на пересечениях автомобильных дорог было установлено, что современные кольцевые пересечения относятся к наиболее популярным и безопасным видам дорожного перекрестка [1–5].

---

Внедрение современных кольцевых пересечений в Российской Федерации только начинает наращивать темпы, в связи с чем производится обновление соответствующей нормативной базы [6]. Однако адаптация многих аспектов проектирования и реконструкции к условиям нашей страны требует значительных трудозатрат. Например, до сих пор никем не была подробно изучена методика расчета аварийности на современных кольцевых пересечениях.

В качестве способа оценки условий безопасности дорожного движения на современных кольцевых пересечениях, рекомендуется использовать методику, предложенную департаментом дорог Австралии, разработанную в 2006 г. Методика подробно изложена в рекомендациях по проектированию автомобильных дорог [6]. Она позволяет определить степень аварийности вероятным числом происшествий различных видов на характерных участках пересечения в течении одного года [7]. Однако предложенное авторами работы [7] уравнение регрессии, вообще говоря не учитывает особенностей проектирования современных кольцевых пересечений, климатических условий, а также манеру вождения в Российской Федерации. С целью проверки адекватности предложенной методики следует дополнительно выполнить необходимые статистические операции.

В нормативной литературе степень опасности пересечения характеризуется показателем безопасности движения  $K_a$ , как количества ДТП на 10 млн. автомобилей, прошедших через одно пересечение. Оценку безопасности современного кольцевого пересечения, согласно методике [7], рекомендуется выполнять путем исследования числа дорожно-транспортных происшествий за один год с помощью показателей аварийности на участках подходов к рассматриваемому пересечению, в том числе на участках въезда и выезда на кольцевую проезжую часть.

Предложенное в работе [7] эмпирическое уравнение для оценки уровня аварийности на участках подхода к кольцевому пересечению, выражается формулой:

$$A_1 = 1,18 \cdot 10^{-18} \cdot N_r^{1,39} \cdot N_k^{0,65} \cdot V_a^{4,77} \cdot n^{2,31}, \quad (1)$$

где  $N_r$  – интенсивность движения на подходе по одной полосе, авт./сут;  $N_k$  – интенсивность движения на кольцевой проезжей части в зоне подхода, авт./сут;  $V_a$  – скорость 85 % обеспеченности на участке въезда на кольцо км/ч;  $n$  – число полос движения на подходе.

Уравнение (1) представляет собой уравнение регрессии, где  $A_1$  – функция отклика от факторов  $N_r$ ,  $N_k$ ,  $V_a$  и  $n$ .

**1. Процедуры построения уравнения аварийности.** Однако из работы [7] неясно, при каких значениях уровня значимости  $\alpha$  и на каких доверительных интервалах для показателей степеней можно пользоваться этим уравнением. В связи с этим, с целью обоснования предложенного уравнения (1) необходимо выполнить проверку его достоверности на основании строгих статистических методов [8,9]. И прежде всего необходимо выполнить оценку выборочных коэффициентов корреляции между характеристиками уравнения аварийности и влияющими на него факторами.

Анализ начинается с процедуры обезразмеривания величин, входящих в эмпирическое уравнение для оценки уровня аварийности на участках подхода к кольцевому пересечению. Обезразмеривание величин делает возможным переход от физических величин, которые могут иметь очень большие или очень малые по модулю значения, к их безразмерным аналогам, которые будут принимать значения порядка единиц. В свою очередь это гарантирует контроль за накоплением ошибок.

В формуле (1) величиной, для которой необходимо провести процедуру обезразмеривания, является  $V_a$  – скорость 85 % обеспеченности на участке въезда на кольцо, км/ч.

Характерным значением, используемым с целью ее обезразмеривания, логично выбрать скорость, ограничивающую движение транспорта на рассматриваемом участке  $V_{\text{орп}}$ . Отношение  $V = V_a(V_{\text{орп}})^{-1}$  является безразмерным и оптимальным образом определяет рассматриваемую нами оценку аварийности. Тогда формула (1) примет вид:

$$A'_1 = 1,18 \cdot 10^{-18} \cdot N_r^{1,39} \cdot N_k^{0,65} \cdot V^{4,77} \cdot n^{2,31}. \quad (2)$$

Выполним операцию логарифмирования с целью приведения уравнения (3) к линейному виду. Получим следующее выражение:

$\lg(A'_1) = \lg(1,18) - 18 + 1,39 \lg(N_r) + 0,65 \lg(N_k) + 4,77 \lg(V) + 2,31 \lg(n)$ , то есть равенство

$$\lg(A'_1) = -17,93 + 1,39 \lg(N_r) + 0,65 \lg(N_k) + 4,77 \lg(V) + 2,31 \lg(n). \quad (3)$$

Отметим, что функция отклика  $Y = \lg(A'_1)$  имеет линейный вид относительно факторов  $X^{(1)} = \lg(N_r)$ ,  $X^{(2)} = \lg(N_k)$ ,  $X^{(3)} = \lg(V)$ ,  $X^{(4)} = \lg(n)$ .

В результате уравнение, связывающее показатель  $Y$  аварийности на кольцевом пересечении с объясняющими переменными  $X^{(i)}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) примет следующий вид:

$$Y = -17,93 + 1,39X^1 + 0,65X^2 + 4,77X^3 + 2,31X^4. \quad (4)$$

Отметим, что анализ множественных корреляционных связей (статистические связи между более чем двумя переменными) связан с необходимостью измерения степени тесноты связи между результирующей переменной  $Y$  и объясняющими переменными [9], а также с возникающими трудностями в интерпретации парных коэффициентов корреляции  $r(Y, X^i)$  между  $Y$  и  $X^{(i)}$ , в том числе, обусловленными возможным опосредованным влиянием на эту парную связь других факторов (не учтенных ранее при выборе объясняющих переменных). Поэтому, в общем случае, при подборе регрессионных уравнений возможно увеличение числа объясняющих переменных  $X^{(i)}$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) (не учтенных при выборе).

**2. Методика проверки достоверности оценки уравнения аварийности.** Множественный корреляционный анализ делает необходимым введение таких измерителей статистической связи, которые, с одной стороны, давали бы оценку степени тесноты связи каждой из пар  $(Y, X^{(i)})$  для интересующих нас переменных, и при этом были «очищены» от опосредованного влияния других переменных, то есть вычислялись бы при условии, что значения остальных переменных фиксированы.

Поиск множественного уравнения регрессии начинается с оценки парных коэффициентов.

В предположении нормальности многомерного закона распределения случайных величин  $X^1, X^2, \dots, X^k$ , обозначим через  $r(Y, X^{(i)}) = r(Y, X^{(i)})(X^2, \dots, X^k)$  выборочный частный коэффициент корреляции между функцией отклика  $Y$  и переменной  $X^1$  при постоянных значениях переменных  $X^2, X^3, \dots, X^k$ . Аналогично (при  $i \geq 1$ ) через  $r_{Y, X^i} = r_{Y, X^i}(X^1, X^{i-1}, X^{i+1}, \dots, X^k)$  обозначим выборочное значение частного коэффициента корреляции между  $Y$  и очередным фактором  $X^i$ , при постоянных значениях оставшихся факторов  $X^{i-1}, X^{i+1}, \dots, X^k$  при  $i \geq 2$  [9].

При исследовании свойств выборочного частного коэффициента корреляции  $r_{Y, X^i} = r_{Y, X^i}(X^1, X^{i-1}, X^{i+1}, \dots, X^k)$   $k$ -го порядка, как обычно [8, 9], предполагаем, что он статистически распределен так же, как и обычный (парный) выборочный коэффициент корреляции между

теми же переменными  $Y$  и  $X^i$ . Естественно, что при этом необходимо вводить поправку на число степеней свободы выборочной совокупности, уменьшая ее объем на  $k$  единиц, т.е. принять соответствующее число степеней свободы равным  $n_i - k$ , где  $n_i$  – размер каждой из анализируемых выборочных совокупностей  $X^i (i = 1, 2, \dots, k)$ .

Для оценки уровня аварийности и особенностей его расчета на участках подхода к кольцевому пересечению, а также для проверки достоверности эмпирических соотношений при необходимых допущениях предлагается методика, позволяющая статистически достоверно при заданной  $\alpha$  выявить степень тесноты зависимости между результирующей переменной  $Y$  и множеством объясняющих переменных  $X^i (i = 1, 2, \dots, k)$ .

Основные этапы расчета включают в себя:

- вычисление выборочных коэффициентов корреляции  $r(Y, X^i)(X^1, X^{i-1}, X^{i+1}, \dots, X^k)$  для каждой из  $k$  объясняющих переменных  $X^i$ ;
- анализ статистических свойств выборочных коэффициентов корреляции  $r(Y, X^i)(X^1, X^{i-1}, X^{i+1}, \dots, X^k)$ ;
- оценки множественного коэффициента корреляции  $R_{y, \bar{X}}$  между результирующей переменной  $Y$  и вектором  $\bar{X} = \{\bar{X}^1, \bar{X}^2, \dots, \bar{X}^k\}$ .

Опишем указанные процедуры подробно.

*Этап 1.* Вычисление выборочных значений статистической оценки  $r(Y, X^1)(X^2, \dots, X^k)$  частных коэффициентов корреляции выполняются на основании следующих рекуррентных соотношений [8]:

$$r(Y, X^1) \cong r(Y, X^1)(X^2, \dots, X^k) = \frac{r(YX^1) - r(YX^{i+1})r(X^1 X^{i+1})}{\sqrt{(1 - r^2(X^1 X^{i+1}))(1 - r^2(YX^{i+1}))}},$$

то есть  $r(Y, X^1)(X^2, \dots, X^k)$  – это статистическая оценка величин  $r(Y, X^1)$ .

Аналогично:

$$r(Y, X^i) \cong r(Y, X^i)(X^{i+1}, \dots, X^k) = \frac{r_{YX^i} - r_{YX^{i+1}} \cdot r_{X^i X^{i+1}}}{\sqrt{(1 - r_{X^i X^{i+1}}^2)(1 - r_{YX^{i+1}}^2)}}, (i = 1, 2, \dots, k), \quad (5)$$

где  $r(Y, X^i)$  – частные коэффициенты корреляции,  $r(Y, X^i)(X^{i+1}, \dots, X^k)$  – их статистические оценки. Знак  $\cong$  означает операцию статистического оценивания.

В частности, уравнение 5 включает в себя четыре объясняющих переменных  $X^1, X^2, \dots, X^4$  и поэтому требует вычисления четырех выборочных коэффициентов корреляции.

*Этап 2.* При исследовании статистических свойств выборочного частного коэффициента корреляции порядка  $k$  предполагаем, что он распределен также, как и обычный (парный) выборочный коэффициент корреляции между теми же переменными. При этом необходимо ввести поправку, уменьшив объем выборки на  $k$  единиц, т.е. принять соответствующее число степеней свободы равным  $n_i - k$ , где  $n_i$  – размер каждой из анализируемых выборочных совокупностей значений  $X^i (i = 1, 2, \dots, k)$ . Отметим, что при малых значениях  $n$  и  $r$ , близких по модулю к единице, следует учитывать, что величина  $\tilde{r}$  является смещенной оценкой своего теоретического значения  $r$ .

Нормальность вероятностного распределения  $\tilde{r}$  позволяет определить достаточную величину выборочного коэффициента корреляции, для возможности статистически обоснованного вывода о наличии корреляционной связи между исследуемыми переменными.

При малых значениях модуля коэффициента корреляции  $|r|$  наблюдается относительно хорошая степень приближения исследуемого распределения к нормальному.

Зададим уровень значимости  $\alpha$  и в предположении о нормальности распределения коэффициента корреляции рассмотрим следующую гипотезу  $H_0$ :

$$H_0 : r_{Y, X^i} = 0, \quad (6)$$

то есть гипотезу о незначимости коэффициента корреляции  $r_{Y, X^i}$  при конкурирующей гипотезе  $H_1$ :

$$H_1 : r_{Y, X^i} \neq 0. \quad (7)$$

Для проверки гипотезы  $H_0$  используется  $t$ -критерий Стьюдента [9]. Опытное значение  $t_r^{оп}$  критерия Стьюдента вычисляются по формуле:

$$t_r^{оп} = \frac{|r_{Y, X^i}| \sqrt{n-2-k}}{\sqrt{1-r_{Y, X^i}^2}}, \quad (8)$$

и при заданном уровне значимости  $\alpha$  сравнивают с его критическим значением  $t_{кр} = t(a, n-2-k)$  которое ищется по статистическим таблицам [9].

Если  $t_r^{оп} > t_{кр}$ , то гипотеза  $H_0$  отвергается, то есть с вероятностью  $p = 1 - \alpha$  можно считать, что результирующая переменная  $Y$  и множество объясняющих переменных  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$  связаны линейной зависимостью.

*Этап 3.* Для измерения степени тесноты статистической связи между результирующей переменной  $Y$  множеством объясняющих переменных  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$  используется множественный коэффициент корреляции  $R_{y, \bar{X}}$ .

Вычисление множественного коэффициента корреляции  $R_{y, \bar{X}}$  выполняется с помощью частных выборочных коэффициентов корреляции  $r_{YX^i(X^{i+1}, \dots, X^k)}$  по следующей формуле:

$$R_{y, \bar{X}}^2 = 1 - (1 - r_{YX^i}^2)(1 - r_{YX^{i+1}(X^i)}^2)(1 - r_{YX^{i+2}(X^i, X^{i+1})}^2)(1 - r_{YX^k(X^i, X^{i+1}, \dots, X^{k-1})}^2). \quad (9)$$

С целью оценки статистической значимости отличия значения множественного коэффициента корреляции  $R_{y, \bar{X}}$  от нуля при заданном уровне значимости  $\alpha$  рассмотрим гипотезу о незначимости  $R_{y, \bar{X}}$ :

$$H_0 : R_{y, \bar{X}}^2 = 0. \quad (10)$$

В качестве конкурирующей гипотезы выберем гипотезу  $H_1$  об отличии  $R_{y, \bar{X}}$  от нуля:

$$H_1 : R_{y, \bar{X}}^2 \neq 0. \quad (11)$$

С целью проверки гипотезы  $H_0$  воспользуемся критерием Фишера. Опытное значение  $F^{оп}$  критерия Фишера вычисляется по формуле [9]:

$$F^{оп} = \frac{\tilde{R}_{y,\bar{x}}^2}{1 - \tilde{R}_{y,\bar{x}}^2} \cdot \frac{n - k - 1}{k}. \quad (12)$$

Далее при заданном уровне значимости  $\alpha$  величина  $F^{оп}$  сравнивается с его критическим значением  $F^{оп} = F(k, n - k - 1)$ , определяемым согласно статистическим таблицам [9].

**Выводы.** В рамках работы выполнен анализ уравнения регрессии, введены необходимые допущения и проанализированы особенности выполнения корреляционного анализа в частном рассматриваемом случае.

На основании проведенного исследования разработана и представлена поэтапная методика проведения корреляционного анализа линейной зависимости уровня аварийности на участках подхода к современному кольцевому пересечению ( $A_l$ ) от объясняющих переменных: интенсивность движения на подходе по одной полосе ( $N_r$ ); интенсивность движения на кольцевой проезжей части в зоне подхода ( $N_k$ ); скорость 85 % обеспеченности на участке въезда на кольцо ( $V_a$ ); число полос движения на подходе ( $n$ ), при помощи множественных и частных коэффициентов корреляции.

Корреляционный анализ уравнения нахождения уровня аварийности на участках подхода к современному кольцевому пересечению согласно предложенной методике позволяет определить достоверность работы данного уравнения в условиях Российской Федерации с учетом климатических условий, особенностей проектирования, состояния существующей дорожно-транспортной сети, а также особенностей манеры вождения.

#### Библиографический список

1. **Gates, T. J.** Converting old traffic circles to modern roundabouts / T. J. Gates, R. E. Maki // Michigan State University. – 2001. – p. 201–220.
2. **Laureshyn, A.** Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioral data / A. Laureshyn, A. Svensson, C. Hyden // Accident Analysis and Prevention 42. – 2010. – p 1637–1646.
3. Facilities Development Manual [Text] // Wisconsin Department of Transportation. – February 25, 2011. – Chapter 11 Design. Section 26 Roundabouts. – 79 p.
4. **Бургонутдинов, А. М.** Организация и безопасность движения на автомобильных дорогах : учеб. пособие / А. М. Бургонутдинов, Б. С. Юшков, А. Г. Окунева. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 234 с.
5. **Поспелов, П. И.** Методическое обеспечение автоматизированного проектирования кольцевых пересечений // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – №2(3). – С. 28–31
6. **ОДМ 2018.2.071-2016.** Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 04.04.2017 № 589-р, 2017. – М. : Росавтодор, 2017. – С. 107.
7. Roundabouts. Road planning and design manual [Text] // Australia: Department of Main Roads. – Australia, 2006. – Chapter 14. – 101 p.
8. **Лялькина, Г. Б.** Математическая обработка результатов эксперимента: учебное пособие / Г. Б. Лялькина, О. В. Бердышев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 180.
9. **Айвазян, С. А.** Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: в 2 т. / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

*Для цитирования:* **Клоян, А. Н.** Методика статистической проверки достоверности уравнения аварийности кольцевых пересечений автомобильных дорог / А. Н. Клоян, А. М. Бургонутдинов, Г. Б. Лялькина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 47–52

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ

УДК 628.3

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ СКЛАДА НЕФТЕПРОДУКТОВ В Г. ВОРОНЕЖЕ

Н. В. Колосова, О. А. Кочура, А. А. Тагайчинова, З. С. Гасанов

*Воронежский государственный технический университет*

*Н. В. Колосова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*О. А. Кочура, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*А. А. Тагайчинова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732) 71-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*З. С. Гасанов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

**Постановка задачи.** Рассмотреть методику расчета дождевой канализации для складов нефтепродуктов с резервуарным парком.

**Результаты и выводы.** Рассчитано среднегодовое количество сточных дождевых, талых и поливочных вод. Данный расчет необходим для проектирования локальных очистных сооружений и выбора метода очистки сточных вод на предприятиях для хранения нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** дождевая канализация, дождевые осадки, водосборная площадь, поверхностный сток, общее количество сточных вод.

**Введение.** Канализация – это отведение бытовых, промышленных и ливневых сточных вод [1]. Дождевая система канализации – это достаточно сложная инженерная система. Она должна быть разработана в соответствии с требованиями [2], а также справочными данными [3].

Отвод дождевых и талых вод с территории предприятий для хранения нефтепродуктов является задачей актуальной, т.к. при инженерной подготовке строительной территории, проектировании водопропускных и очистных сооружений, расчете нормативов предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ (с поверхностным стоком), рассмотрении вариантов использования очищенных сточных вод для водоснабжения производства, обводнения или орошения, геоэкологической оценке состояния природно-технических систем, требуется знать величину поверхностного стока.

Поверхностный сток с селитебных территорий и площадок предприятий является одним из интенсивных источников загрязнения окружающей среды различными примесями природного и техногенного происхождения.

**1. Рассмотрение дождевой канализации, приведение данных по интенсивности осадков, концентраций различного рода загрязнений.** Отвод дождевых и талых вод с территории складов нефтепродуктопроводов проектируется закрытой системой К2 в проектируемый закрытый водоток и далее на рельеф местности.

Перед сбросом дождевых вод в закрытый водоток предусматривается очистка всего стока на локальных очистных сооружениях. Согласно [2] на выпусках от дождеприёмников, расположенных на обвалованных площадках резервуарных парков (за пределами обвалования), на площадках сливо-наливных устройств для железнодорожных и автомобильных цистерн предусматривается устройство колодцев–уловителей с гидравлическими затворами высотой не менее 0,25 м.

Для решения поставленной задачи в качестве примера рассмотрим условный склад нефтепродуктов, расположенный в г. Воронеж. Он занимает площадь 4,2 га. Поверхность земли характеризуется отметками 154–144 и имеет уклон земли с востока на запад, что позволяет осуществить сбор и отвод атмосферных осадков самотёком.

Основные гидрометеорологические параметры района расположения склада нефтепродуктопроводов приняты согласно [5].

По данным многолетних наблюдений метеостанций г. Воронежа среднее годовое количество осадков для данного района составляет 530 мм, в том числе: за тёплый период года – 360 мм, за холодный – 170 мм. За тёплый период года принят период с апреля по октябрь, за холодный – с ноября по март.

Внутригодовое распределение осадков по месяцам представлено в таблице 1.

Таблица 1

Среднее количество осадков, приведенное  
к показаниям осадкомера, мм

В стан- ции	Месяцы												Холодный период XI-III	Теплый период IV-X	Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
226	34	27	30	38	30	58	70	56	43	45	39	40	170	360	530

Внутригодовое процентное распределение приведено в таблице 2.

Таблица 2

Твёрдые (Тв), жидкие (Ж) и смешанные (См)  
осадки в % от общего количества

В стан- ции	Вид осадков	Месяцы												За год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
222	Тв	55	46	48	5	.	.	.	.	.	4	17	30	12
	Ж	6	11	14	74	100	100	100	100	98	73	50	32	72
	См	39	43	38	21	.	.	.	.	2	23	33	38	16

Примечание: точка (.) означает, что в соответствующую декаду снежный покров наблюдается менее, чем в 50 % зим.

Из общего количества осадков 72 % приходится на жидкие, 12 % – на твёрдые, 16 % – на смешанные.

Средний многолетний суточный максимум осадков г. Воронежа составляет 35 мм.

Число дней с осадками различной величины приведены в таблице 3.

В течение года наблюдается в среднем 160 дней с осадками, дающими не менее 0,1 мм. Дней со усиленными осадками, то есть теми, которые дают 10 мм воды и более, в среднем за год наблюдается около 10.

Таблица 3

## Число дней с осадками различной величины

Месяцы, мм	Осадки, мм						
	0,1	0,5	1,0	5,0	10	20	30
I	17,5	11,2	7,7	1,7	0,3	0,02	0
II	14,5	8,7	6,2	1,3	0,2	0,003	0
III	13,8	8,7	6,5	1,4	0,4	0	0
IV	11,6	8,7	7,1	2,2	0,6	0,06	0,02
V	11,8	9,3	7,9	3,6	1,6	0,5	0,1
VI	12,2	10,2	8,7	3,5	1,8	0,6	0,2
VII	12,5	10,2	8,5	4,0	1,8	0,6	0,2
VIII	11,9	9,8	8,1	3,3	1,7	0,6	0,1
IX	9,9	8,1	6,6	2,4	1,0	0,3	0,03
X	12,3	9,2	7,7	3,0	1,2	0,2	0,02
XI	14,3	9,8	7,6	2,4	0,7	0,2	0,02
XII	17,3	10,8	8,1	2,2	0,6	0,03	0
год	159,6	114,7	90,7	31,0	11,9	3,113	0,69

Примечание: за стокообразующие осадки принимаются осадки слоем  $h \geq 1,0$  мм. Количество стокообразующих дней за тёплый период года – 54,6 дней.

Максимальная интенсивность осадков (мм/мин) для различных интервалов времени приведены в таблице 4. Запас воды в снежном покрове при снегосъёмках на последний день декады по м/с 222 составляет 51 мм (см. табл.5).

Таблица 4

## Максимальная интенсивность осадков для различных интервалов времени (мм/мин) год

Станция	Интервалы времени							
	минуты				часы			
	5	10	20	30	1	12	24	48
222	2,0	1,5	0,8	0,6	0,4	0,10	0,05	0,03

Таблица 5

## Запас воды в снежном покрове по снегосъёмникам на последний день декады

Участок	октябрь			ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апрель			Среднее из нац. запасов воды	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Поле				.	.	.	.	.	.	28	32	43	49	54	59	59	62	73	61	.	.	.	75

Примечание: Точка (.) означает, что в соответствующую декаду снежный покров наблюдается менее чем в 50 % зим.

Район расположения г. Воронежа характеризует относительное обилие атмосферных осадков – в среднем за год наблюдается 91 день со стокообразующими осадками.

Подавляющая часть осадков более 80% выпадает в виде дождей и менее 20 % в виде твёрдых осадков. Внутригодовое распределение осадков относительно равномерное с максимумом выпадения в тёплый период года (июль – 70 мм) и минимум – в холодный (февраль – 27 мм).

Характерной чертой выпадающих осадков является частота выпадения мелких и средних дождей с небольшим суточным их количеством максимальная часовая интенсивность составляет 0,4 мм/мин, суточная (24 часа) – 0,05 мм/мин. С учётом оттепелей в этом районе в холодный период года (с ноября по март) выпадает – 42 мм осадков в виде талой и 64 мм смешанных, что указывает на круглогодичное ориентирование поверхностного стока.

Общая водосборная площадь 4,2 га. Вид водосборных поверхностей территорий предприятия, их площадь и образование на них загрязнений в дождевом стоке даны в таблице 6. Характеристики сточных вод с поверхностей сооружений предприятия приняты согласно [2], с дорог – [6].

Таблица 6

Концентрации загрязнений в зависимости от вида водосборной поверхности и площади

Вид водосборной поверхности	Водосборная площадь, га	Концентрация загрязнений, мг/л		
		Взвешенные вещества	Нефтепродукты	БПК
Водонепроницаемые поверхности: Крыши зданий	0,1	–	–	–
Автомобильные дороги, площадки бетонные и асфальтобетонные	0,41	2000	60	30
Сливные устройства	0,025	600	1000	200
Заправочные пункты	0,066	600	1000	200
Обвалованные площадки	1,41	300	20	8
Итого	2,011			
Водопроницаемые поверхности: Газоны и зелёные насаждения	2,2	–	–	–
Всего	4,211	308,1	38,1	9,81

Концентрация загрязнений с территории предприятия в талых водах принята согласно [5] и составляет по взвешенным веществам 4500 мг/л, нефтепродуктам 75 мг/л.

Концентрация загрязнений в поливомоечных водах с территории предприятия приняты по таблице 6 и составляют: взвешенных веществ 2000 мг/л, нефтепродуктов – 60 мг/л, БПК – 30 мг/л.

Постоянный коэффициент стока для различного рода поверхностей принимается в следующих пределах:

- 1) для водонепроницаемых покрытий:
  - асфальтовые дороги и крыши зданий – 0,95;
  - брусчатые мостовые и щебёночные покрытия – 0,6;
- 2) для водопроницаемых поверхностей: газоны и зелёные насаждения – 0,1.

Проектируемые очистные сооружения, обеспечивающие очистку всего объёма сточных вод, отводимых сетью дождевой канализации предприятия, рассчитываются на приём стока от осадков среднего многолетнего суточного максимума слоем 35 мм.

Характеристика поверхностного стока (усреднённый состав по основным загрязняющим примесям), поступающего на очистные сооружения в мг/л:

- взвешенные вещества – 303,1;
- нефтепродукты – 38,1;
- БПК – 9,92.

Грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах и органические примеси естественного происхождения – вот основные примеси, которые содержатся в очищаемом стоке с исследуемой территории.

Очистные стоки, которые сбрасывают на местности, должны содержать загрязнений не более:

- взвешенных веществ – 3 мг/л;
- нефтепродуктов – 0,05 мг/л;
- БПК – 3 мг О<sub>2</sub>/л.

**2. Расчёт общего количества сточных вод, поступающих на очистные сооружения.** Расчётный расход дождевых вод с территории предприятия рассчитан по формуле (1) согласно [3, п.7.4]:

$$q_r = \frac{z_{mid} \cdot A^{1,2} \cdot F}{t_r^{1,2 \cdot n - 0,1}}, \quad (1)$$

где  $z_{mid}$  – среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока, согласно [3, п.7.4.7] и составляет для кровель зданий и сооружений, асфальтобетонных покрытий дорог, обвалованных площадок при параметре  $A=755 \dots 0,27$ , для грунтовых (спланированных) поверхностей – 0,064, для газонов и зелёных насаждений – 0,038;  $A$  – параметр, определяемый согласно [2]:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \cdot \left( 1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma, \quad (2)$$

$q_{20}$  – интенсивность дождя, л/с на 1 га для данной местности: с продолжительностью 20 мин при  $P=1$  год, 90 л/с;  $n=0,71$  – показатель степени, определяемый согласно [2, п.7.4.2, табл. 9];  $P$  – период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, определяется согласно [3, п.7.4.2, табл.10] и составляет 1 год;  $\gamma=1,54$  – показатель степени, принят согласно [3, п. 7.4.2, табл. 9];  $m_r = 150$  дней – среднее количество дождей за год, принимаемое согласно [3, п.7.4.2, табл.9];  $F$  – водосборная площадь предприятия – 4,2 га;  $t_r$  – расчётная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания дождевых вод по поверхности и трубам до расчетного участка, определяется согласно [3, п.7.4.5] и составляет:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \quad (3)$$

$t_{con}$  – продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка или при наличии дождеприемников в пределах квартала до уличного коллектора, принятое 5 мин;  $t_{can}$  – то же, по уличным лоткам до дождеприемника:

$$t_{can} = 0,021 \cdot \sum \frac{l_{can}}{V_{can}}, \quad (4)$$

где  $l_{can}$  – длина участков лотков, 60 м;  $V_{can}$  – расчетная скорость течения на участке, 0,8 м/с;  $t_p$  – продолжительность протекания дождевых вод по трубам, его значение до расчётного сечения определена по формуле:

$$t_p = 0,017 \cdot \sum \frac{l_p}{V_p}, \quad (5)$$

где  $l_p$  – длина расчётных участков коллектора, 250 м;  $V_p$  – расчётная скорость течения на участке, 0,83 м/с.

$$t_p = 0,017 \cdot \frac{250}{0,83} = 5,1 \text{ мин},$$

$$t_{can} = 0,021 \cdot \frac{60}{0,8} = 1,57 \text{ мин},$$

$$t_r = 5 + 5,7 + 5,1 = 11,67 \text{ мин},$$

$$A = 90 \cdot 20^{0,71} \cdot \left(1 + \frac{\lg 1}{\lg 150}\right)^{1,54} = 755,$$

$$\frac{0,27 \cdot 2,011 + 0,038 \cdot 2,2}{4,211} = 0,149,$$

$$q_r = \frac{0,149 \cdot 755^{1,2} \cdot 4,211}{11,67^{1,2 \cdot 0,71 - 0,1}} = 281 \text{ л/с}.$$

При регулировании дождевого стока с территории предприятия первой группы расчётный расход дождевых вод, отправляемых на очистку, определён при периоде однократного превышения расчётной интенсивности  $P=1$  году по формуле:

$$q = K_l \cdot q_r, \quad (6)$$

где  $K_l$  – коэффициент, при  $n=0,71$  и периоде однократного превышения интенсивности дождя, сток от которого подаётся на очистные сооружения, принятого равным  $P_{oc} = 0,1$  году.

$$q = 0,22 \cdot 281 = 61,8 \text{ л/с}.$$

Расчётный расход талых вод с территории нефтебазы в г. Воронеже определён по слою стока за часы снеготаяния в течение суток по формуле:

$$Q_m = \frac{5,5 \cdot h_c \cdot K \cdot F}{10 + t_r}, \quad (7)$$

где  $t_r$  – расчётная продолжительность протекания талых вод до расчётного участка, 11,67 мин или 0,195 с;  $F$  – водосборная площадь, га;  $K$  – коэффициент, учитывающий частичный вывод и окучивание снега, 0,65;  $h_c$  – слой снега за 10 дневных, для первого района равен 25 мм при коэффициенте  $C$ , равного 0,85.

$$Q_m = \frac{5,5 \cdot 25 \cdot 0,65 \cdot 4,211}{10 + 0,195} = 36,9 \text{ л/с}.$$

Среднегодовое количество сточных вод, поступивших на очистные сооружения, посчитано согласно [6] и составляет:

1) дождевых вод:

$$W_{\text{д}} = 2,5 \cdot H_{\text{жс}} \cdot K_3 \cdot F, \quad (8)$$

где  $H_{\text{жс}}$  – среднегодовое количество дождевых осадков, мм;  $K_3$  – коэффициент, учитывающий объём дождевых вод, который направляется на очистные сооружения, при  $q_{\text{г}}=90$  л/с равен 0,68;  $F$  – площадь водосбора, га.

$$W_{\text{д}} = 2,5 \cdot 360 \cdot 0,68 \cdot 4,211 = 2577,7 \text{ м}^3.$$

2) талых вод

$$W_{\text{т}} = 8 \cdot H_{\text{л.с.}} \cdot K_4 \cdot F, \quad (9)$$

где  $H_{\text{л.с.}}$  – средний слой весеннего стока (определён как запас воды в снеговом покрове на последний день декады и составляет 61 мм);  $K_4$  – коэффициент, учитывающий объём талых вод, направляемых на очистные сооружения при вероятности превышения весеннего стока 10 % и первом районе снегового стока;  $F$  – площадь образования весеннего стока, га.

$$W_{\text{т}} = 8 \cdot 61 \cdot 0,4 \cdot 4,211 = 832 \text{ м}^3$$

3) поливомоечных вод, исходя из нормы полива дорожных покрытий 1,5 л/м, площади дорожных покрытий 4100 м<sup>2</sup>, коэффициента стока 0,5 и количестве поливок дорожных покрытий в год 50:

$$W = 1,5 \cdot 4100 \cdot 0,5 \cdot 50 = 153,75 \text{ м}^3.$$

Общее количество сточных вод, поступающее на очистные сооружения, составит:  
 $2577,7 + 622 + 153,75 = 3355,5 \text{ м}^3/\text{год}.$

**Выводы.** Сточные воды образуются на предприятиях для хранения нефтепродуктов от бытовых потребителей, полива усовершенствованных покрытий и проездов, от атмосферных осадков. Расчет количественного и качественного состава сточных вод, образующихся на предприятиях, позволяет инженеру–проектировщику грамотно спроектировать устройство дождевой канализации. В соответствии с условиями водопользования и характером их загрязнения проектируются локальные очистные сооружения для очистки поверхностных вод до величин ПДК.

#### Библиографический список

1. Стройдвор. Инженерные системы и сети в строительстве. [Электронный ресурс]. URL: <https://strojdvor.ru/kanalizaciya/vidy-kanalizacii/> (дата обращения: 26.02.2020).
2. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 2013–01–01. – М. : изд-во стандартов, 2012. – 94 с.
3. Меншутин, Ю. А. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты: метод. указ. / Методическое пособие/ Ю. А. Меншутин, Л. М. Верещагина, А. С. Керин, Е. В. Фомичёва, А. Ю. Логунова. – 2014. – 146 с.
4. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктопроводов. Требования к пожарной безопасности. – Введ. 2013–01–01. – М. : изд-во стандартов, 2013. – 55 с.
5. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменениями N 1, 2). Введ. 2014–01–01. – М. : изд-во стандартов, 2015. – 124 с.

Для цитирования: Колосова, Н. В. Методика расчета дождевой канализации на примере нефтебазы в г. Воронеж / Н. В. Колосова, О. А. Кочура, А. А. Тагайчинова, З. С. Гасанов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2020. – № 1 (18). – С. 53–59.

## **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.