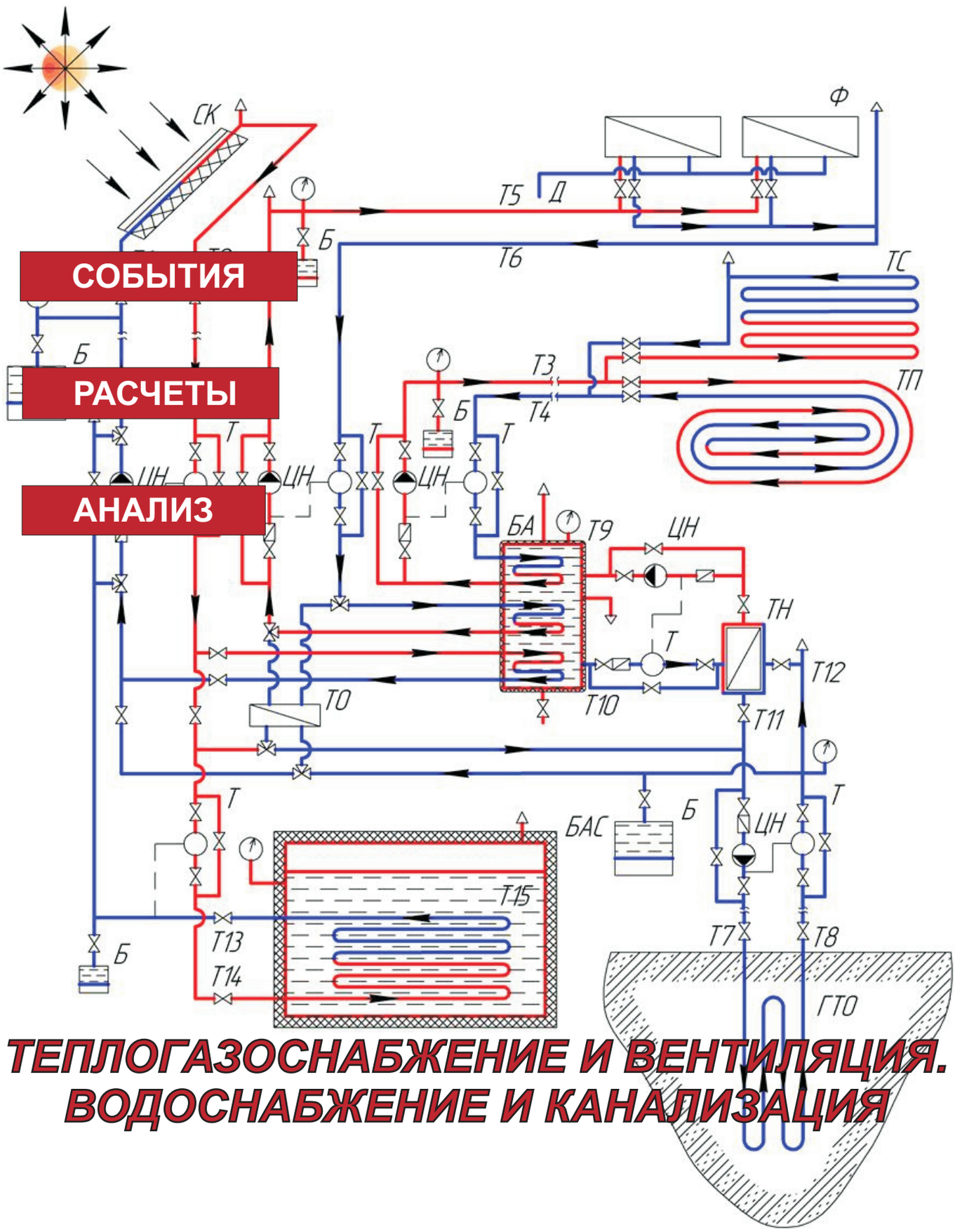
ISSN 2071-4726
2071-0305

Инженерно-строительный журнал

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

№6(58) сентябрь-октябрь 2015



СОБЫТИЯ

РАСЧЕТЫ

АНАЛИЗ

ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Инженерно-строительный институт
Центр дополнительных профессиональных программ

195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,
тел/факс: 552-94-60, www.stroikursi.spbstu.ru,
stroikursi@mail.ru

Приглашает специалистов организаций, вступающих в СРО, на курсы повышения квалификации (72 часа)

Код	Наименование программы	Виды работ*
	Курсы по строительству	
БС-01-04	«Безопасность и качество выполнения общестроительных работ»	**п.1,2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14**
БС-01	«Безопасность и качество выполнения геодезических, подготовительных и земляных работ, устройства оснований и фундаментов»	**1,2,3,5**
БС-02	«Безопасность и качество возведения бетонных и железобетонных конструкций»	**6,7**
БС-03	«Безопасность и качество возведения металлических, каменных и деревянных конструкций»	**9,10,11**
БС-04	«Безопасность и качество выполнения фасадных работ, устройства кровель, защиты строительных конструкций, трубопроводов и оборудования»	**12,13,14**
БС-05	«Безопасность и качество устройства инженерных сетей и систем»	**15,16,17,18,19**
БС-06	«Безопасность и качество устройства электрических сетей и линий связи»	**20,21**
БС-08	«Безопасность и качество выполнения монтажных и пусконаладочных работ»	**23,24**
БС-12	«Безопасность и качество устройства мостов, эстакад и путепроводов»	**29**
БС-13	«Безопасность и качество выполнения гидротехнических, водолазных работ»	**30**
БС-14	«Безопасность и качество устройства промышленных печей и дымовых труб»	**31**
БС-15	«Осуществление строительного контроля»	**32**
БС-16	«Организация строительства, реконструкции и капитального ремонта. Выполнение функций технического заказчика и генерального подрядчика»	**33**
	Курсы по проектированию	
БП-01	«Разработка схемы планировочной организации земельного участка, архитектурных решений, мероприятий по обеспечению доступа маломобильных групп населения»	**1,2,11**
БП-02	«Разработка конструктивных и объемно-планировочных решений зданий и сооружений»	**3**
БП-03	«Проектирование внутренних сетей инженерно-технического обеспечения»	**4**
БП-04	«Проектирование наружных сетей инженерно-технического обеспечения»	**5**
БП-05	«Разработка технологических решений при проектировании зданий и сооружений»	**6**
БП-06	«Разработка специальных разделов проектной документации»	**7**
БП-07	«Разработка проектов организации строительства»	**8**
БП-08	«Проектные решения по охране окружающей среды»	**9**
БП-09	«Проектные решения по обеспечению пожарной безопасности»	**10**
БП-10	«Обследование строительных конструкций и грунтов основания зданий и сооружений»	**12**
БП-11	«Организация проектных работ. Выполнение функций генерального проектировщика»	**13**
Э-01	«Проведение энергетических обследований с целью повышения энергетической эффективности и энергосбережения»	
	Курсы по инженерным изысканиям	
И-01	«Инженерно-геодезические изыскания в строительстве»	**1**
И-02	«Инженерно-геологические изыскания в строительстве»	**2,5**
И-03	«Инженерно-гидрометеорологические изыскания в строительстве»	**3**
И-04	«Инженерно-экологические изыскания в строительстве»	**4**
И-05	«Организация работ по инженерным изысканиям»	**7**

***(согласно приказам Минрегионразвития РФ N 624 от 30 декабря 2009 г.)**

По окончании курса слушателю выдается удостоверение о краткосрочном повышении квалификации установленного образца (72 ак. часа)

Для регистрации на курс необходимо выслать заявку на участие, и копию диплома об образовании по телефону/факсу: 8(812) 552-94-60, 535-79-92, , e-mail: stroikursi@mail.ru.

Http://www.engstroy.spb.ru – полнотекстовая версия журнала в сети Интернет. Бесплатный доступ, обновление с каждым новым выпуском

Инженерно-строительный журнал
НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ISSN 2071-4726

Свидетельство о государственной регистрации: ПИ №ФС77-38070, выдано Роскомнадзором

Специализированный научный журнал. Выходит с 09.2008.

Включен в Перечень ведущих периодических изданий ВАК РФ

Периодичность: 8 раз в год

Учредитель и издатель:

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Адрес редакции:

195251, СПб, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 227А

Главный редактор:
Вера Михайловна Якубсон

Научный редактор:
Николай Иванович Ватин

Литературный редактор:
Екатерина Игоревна Архипова

Редакционная коллегия:
д.т.н., проф. В.В. Бабков;
д.т.н., проф. М.И. Бальзанников;
к.т.н., проф. А.И. Боровков;
д.т.н., проф. Н.И. Ватин;
PhD, professor М. Вельжкович;
д.т.н., проф. А.Д. Гиргидов;
д.т.н., проф. Э.К. Завадскас;
D.Sc., professor М. Кнежевич;
д.т.н., проф. В.В. Лалин;
д.т.н., проф. Б.Е. Мельников;
д.т.н., проф. Ф. Неправишта;
д.т.н., проф. Р.Б. Орлович;
Dr. Sc. Ing., professor Л. Пакрастиньш;
Dr.-Ing. Habil., professor Х. Пастернак;
д.т.н., проф. А.В. Перельмутер;
к.т.н. А.Н. Пономарев;
д.ф.-м.н., проф. М.Х. Стрелец;
д.т.н., проф. О.В. Тараканов;
Dr.-Ing., professor Д. Унгерман.

Установочный тираж 1000 экз.

Подписано в печать 22.10.15.
Формат 60x84/8, усл. печ. л. 7.
Заказ №2331.

Отпечатано в типографии СПбПУ.
СПб, ул. Политехническая, д. 29

Содержание

СОБЫТИЯ

Конференция «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения» 4

РАСЧЕТЫ

Свинцов А.П., Харун М.И., Мукарзель С.А. Вентильная головка к водоразборной арматуре с высокой регулирующей способностью 8

Литвинова Н.А. Воздухоприемное отверстие приточной камеры и предотвращение поступления в вентиляционную систему вредных примесей 19

АНАЛИЗ

Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии 32

Чусов А.Н., Масликов В.И., Молодцов Д.В., Жажков В.В., Рябухин О.А. Оценка зонального распределения метана на полигонах ТБО северных регионов для его использования местной энергетикой 44

© ФГАОУ ВО СПбПУ, 2015

На обложке: иллюстрация к статье «Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии» (Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н.)

Контакты:
Тел. +7(812)535-52-47 E-mail: mce@ice.spbstu.ru
Web: http://www.engstroy.spb.ru

Http://www.engstroy.spb.ru – full-text open-access version in Internet. It is updated immediately with each new issue.

Magazine of Civil Engineering
SCHOLAR JOURNAL

ISSN 2071-4726

Peer-reviewed scientific and technical journal

Start date: 2008/09

8 issues per year

Publisher:

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Corresponding address:

227a Hydro Building, 29 Polytechnicheskaya st., Saint-Petersburg, 195251, Russia

Editor-in-chief:

Vera M. Yakubson

Science editor:

Nikolay I. Vatin

Copy editor:

Ekaterina I. Arkhipova

Editorial board:

V.V. Babkov, D.Sc., professor
M.I. Balzannikov, D.Sc., professor
A.I. Borovkov, PhD, professor
M. Veljkovic, PhD, professor
E.K. Zavadskas, D.Sc., professor
M. Knezevic, D.Sc., professor
V.V. Lalin, D.Sc., professor
B.E. Melnikov, D.Sc., professor
F. Nepravishta, D.Sc., assoc. professor
R.B. Orlovich, D.Sc., professor
L. Pakrastinsh, Dr.Sc.Ing., professor
H. Pasternak, Dr.-Ing.habil., professor
A.V. Perelmuter, D.Sc., professor
A.N. Ponomarev, PhD, professor
M.Kh. Strelets, D.Sc., professor
O.V. Tarakanov, D.Sc., professor
D. Ungermann, Dr.-Ing., professor

Contents

EVENTS

The conference "Inspection of buildings and structures: problems and solutions" (rus) 4

CALCULATIONS

Svintsov A.P., Kharun M.I., Mukarzel S.A. Valve head for water fittings with high regulatory capacity (rus) 8

Litvinova N.A. The air supply hole of the inlet chamber and preventing the inflow of harmful impurities into the ventilation system (rus) 19

ANALYSIS

Basok B.I., Bozhko I.K., Nedbaylo A.N., Lysenko O.N. A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources (rus) 32

Chusov A.N., Maslikov V.I., Molodtsov D.V., Zhazhkov V.V., Riabuokhin O.A. Assessment of zonal distribution of methane on MSW landfills in northern regions for its usage in local power engineering (rus) 44

© Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. All rights reserved.

On the cover: the illustration from the paper "A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources"

+7(812) 535-52-47
E-mail: mce@ice.spbstu.ru
Web: Http://www.engstroy.spb.ru

Энерго
Эффективность
XXI век
IX МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС
«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ. XXI ВЕК.
ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ»
РЕГИСТРАЦИЯ НА КОНГРЕСС
www.energoeffekt21.ru
11 - 12 ноября 2015
Санкт-Петербург,
гостиница «Парк Инн Прибалтийская»
Организаторы:
НОПРИЗ
Генеральный информационный партнер:
Строительный

doi: 10.5862/MCE.58.1

Конференция «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения»

The conference “Inspection of buildings and structures: problems and solutions”

Ключевые слова: обследование зданий; техническая диагностика; неразрушающие методы контроля; большепролетные сооружения; обследование памятников архитектуры

Key words: conference; inspection of buildings; structure testing; non-destructive methods; large-span structures; survey of historic buildings

Аннотация. В статье кратко освещены основные доклады конференции «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения», проходившей 15–16 октября 2015 г. в Санкт-Петербурге. Тематика конференции охватывала опыт обследования различных видов конструкций, от большепролетных спортивных сооружений до памятников архитектуры, рассматривались разрушающие и неразрушающие методы оценки механических свойств различных строительных материалов.

Abstract. The article briefly covers the main reports given on the conference “Inspection of buildings and structures: problems and solutions” that took place in Saint-Petersburg on October, 15th–16th. The conference covered the big range of subjects: the experience in inspection of various structures, from large-span sports structures to historical buildings; the non-destructive and direct methods for evaluation of the mechanical properties of various construction materials and so on.

15–16 октября в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого проходила VI Международная научно-практическая конференция «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения». Постоянно расширяя свой формат, в этом году конференция впервые проходила в течение двух дней; в ней приняли участие около 200 слушателей и 26 докладчиков.

Тематика конференции также расширилась. В этом году особое внимание было уделено обследованию уникальных и технически сложных объектов. Так, доклад Владимира Филипповича Мущанова, д.т.н., профессора, проректора по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, был посвящен обследованию большепролетных покрытий спортивных сооружений. Такие сооружения, как правило, являются уникальными благодаря величине пролета. В.Ф. Мущанов рассказал об опыте обследования нескольких московских объектов, построенных к Олимпиаде-80, а также об использовании этого опыта в мониторинге спортивных сооружений, построенных к Евро-2012 в Украине.

Основная часть описанных сооружений относится к мембранному типу, в связи с чем докладчик описал основные факторы, которые необходимо учитывать при обследовании мембранных конструкций.

1. Снеговые нагрузки приобретают особое значение в связи с большой площадью покрытия. Необходимо проводить расчет как на период снегопада, так и на период, когда снег слежался, частично сползает и т.п.
2. Необходимо учитывать изменчивость толщины проката, т.е. уточнять коэффициент условий работы.
3. Антикоррозионная обработка может проводиться только после тщательного исследования коррозионного износа. Поскольку температурно-влажностный режим по покрытию неоднороден, то коррозия металла также происходит неравномерно: например, в обследованных сооружениях коррозия составляла 0,5–0,6 мм за 5 лет в центре покрытия, а по краю проникала практически на всю толщину металла.
4. Необходим учет геометрических несовершенств конструкции.
5. Необходимо проводить уточненный перерасчет с учетом «генетической» и конструктивной нелинейности.

По опыту обследования спортивных сооружений в Москве В.Ф. Мущанов и его коллеги сформулировали комплексную модель мониторинга уникальных большепролетных сооружений, включающую три этапа:

1) фиксирование и анализ начального состояний конструкций, подготовка к сдаче в эксплуатацию;
2) создание системы онлайн контроля напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций сооружения;
3) эксплуатация системы онлайн контроля.

Помимо экспресс-анализа наиболее ответственных элементов конструкции, необходимы численная оценка вероятности отказа на каждом этапе строительства и эксплуатации.

Неудовлетворительное состояние многих элементов обследованных сооружений показало, что для таких уникальных объектов необходимо применять проектирование на основании методов теории надежности. В дальнейшем полученные данных могут быть использованы для получения частных коэффициентов надежности для использования в проектировании типовых объектов.

Помимо доклада В.Ф. Мущанова, обследованию большепролетных спортивных сооружений (более частным случаям) были посвящены выступления Сергея Дмитриевича Федотова, главного инженера ПНИПКУ «Венчур», «Результаты обследования вантового покрытия СК “Юбилейный” в г. Санкт-Петербург» и Николая Михайловича Жерносека, заместителя директора по научной работе ОДО «Техническая диагностика сооружений» (г. Брест, Беларусь). В последнем докладе описывался опыт обследования ледового дворца в Бресте. Причинами обследования стали появление крупных сквозных трещин в стенах, повреждение штукатурного покрытия, трещины в перегородках, повреждение панелей подвесного потолка, растрескивание остекления фасада. При этом состояние основания (свайный фундамент), качество использованных материалов – металла и газобетона, качество железобетонных перекрытий были вполне удовлетворительными. Таким образом, основными причинами разрушения здания стали качество строительно-монтажных работ и условия эксплуатации. Обследователи выявили следующие дефекты СМР:

- жесткое соединение стен с каркасом;
- отсутствие заложенных в проекте деформационных швов;
- перекрытие существующих деформационных швов армопоясами;
- применение в штукатурке цементно-песчаных растворов с низкой паропроницаемостью.

Кроме того, при поверочном расчете было обнаружено, что даже заложенных в проекте деформационных швов для стен с заполнением из газосиликата недостаточно. В отечественных нормах предполагается шаг 60 м, в то время как, например, в Еврокодах для газосиликатных стен шаг системы деформационных швов – 6 м.

Другой важной причиной неудовлетворительного состояния сооружения стали непроектные условия эксплуатации: внутренняя температура значительно ниже проектной, влажность – значительно выше. Это приводило к образованию конденсата на внутренней поверхности стен и, соответственно, к их разрушению.

В результате возникла необходимость ремонта стен – в данном случае было принято решение об армировании конструкции специальными спиральными стержнями. Это сравнительно новая технология, поэтому потребовались лабораторные испытания газобетонной кладки, усиленной данными стержнями.

Подробнее о данной технологии на этой же конференции рассказывал Ян Фиала, технический директор представительства компании «Construction Products Solutions International Ltd.» (Чехия). Основным преимуществом технологии CPSI, по его мнению, является минимальное нарушение целостности конструкции – стержни вставляются в горизонтальные швы с одной стороны стены. Помимо усиления стен, их можно использовать в качестве анкеров для соединения многослойных конструкций. Спиральные стержни активно применяются в Европе для ремонта и усиления памятников архитектуры, включая арочные конструкции.

Об обследовании исторических зданий на примере Санкт-Петербурга в своем докладе рассказывал д.г.-м.н., генеральный директор ГК «Георекoнструкция» Алексей Георгичевич Шашкин. По его мнению, необходим пересмотр подхода к формированию программы

капитального ремонта исторических зданий. Сейчас данная программа базируется на сроке службы, то есть возрасте зданий. Более рациональным подходом будет постоянный мониторинг технического состояния зданий, позволяющий выявить объекты, действительно нуждающиеся в капитальном ремонте. Для этого необходима разработка способов оценки категории состояния здания без существенных вмешательств в конструкцию и нарушения внешнего вида. Исходя из опыта обследования исторических зданий, А.Г. Шашкин предлагает, помимо визуального обследования, использовать мониторинг развития деформаций во времени, например, динамику осадки разных элементов здания. Категория технического состояния достаточно просто коррелирует с необходимостью капитального ремонта здания:

- при работоспособном состоянии капремонт не требуется;
- при ограниченно работоспособном (при условии проведения мониторинга) – постановка на капремонт в зависимости от результатов мониторинга;
- при ограниченно работоспособном (при условии проведения усиления) необходим плановый капремонт;
- при аварийном состоянии необходим экстренный капремонт.

О нетрадиционном методе мониторинга деформаций зданий – фотограмметрии – в своем докладе рассказал к.т.н., генеральный директор ООО «НПП Фотограмметрия» Александр Евгеньевич Войнаровский. В основном для подобных целей используются геодезические приборы и различные датчики линейных и угловых перемещений, однако нужно учитывать, что одномоментно каждый из них может измерить положение отправной точки и выполнить какой-либо один промер. Это затрудняет исследование быстрой деформации. Преимущество методов фотограмметрии заключается в возможности фиксировать неограниченное количество целей и отслеживать их перемещение, что важно при мониторинге быстро протекающих процессов. Докладчик отметил, что метод обеспечивает высокую точность измерений, которая соизмерима с показаниями самых точных геодезических приборов.

Традиционно на данной конференции обсуждался вопрос о прямых и неразрушающих методах контроля состояния конструкций. Доклад Гвидо Тронка, руководителя направления испытаний бетона компании «Proceq SA», был посвящен этому вопросу в отношении определения прочности бетона. Определение прочности бетона разрушающим методом (отбором кернов) дает точные результаты, но только в отношении конкретного места в конструкции. Кроме того, отбирать керны можно не в любом месте конструкции; не всегда есть возможность сделать испытания необходимого количества элементов. Поэтому большую популярность имеют также неразрушающие методы, такие как молоток Шмидта или ультразвуковой метод.

Основным недостатком неразрушающих методов является невозможность их самостоятельного использования. Точнее, их можно использовать только для качественной оценки состояния конструкции, в частности, определения мест для применения разрушающих методов. Для того чтобы использовать неразрушающие методы в количественной оценке, необходимо построение градуировочных зависимостей. Можно, конечно, использовать зависимости, предлагаемые производителями приборов или найденные в литературе, но обычно результаты, полученные на основе таких зависимостей, оказываются неточными. Для построения зависимостей для конкретной конструкции необходимо сначала определить прочность бетона в нескольких точках разрушающими методами, а затем построить по ним кривую, по которой впоследствии можно определить прочность в других точках, уже используя неразрушающие методы. Таким образом, применение отбора кернов все равно необходимо, но количество таких проб может быть значительно сокращено.

Другим важным материалом, прочность которого требуется определять при обследовании зданий, является каменная кладка. Ведущий инженер ПНИПКУ «Венчур» Сергей Владимирович Зубков в своем докладе проанализировал различные методы определения механических свойств каменной кладки. Классическим здесь является метод, рекомендованный СНИП II-22-81, основанный на формуле Л.И. Онищика. Данный подход сложен в применении, поэтому постоянно проводится поиск альтернативных способов. Неразрушающие методы контроля не показывают приемлемых результатов. Ведутся исследования метода выбуривания кернов в применении к каменной кладке, результаты пока неоднозначные: современная кладка показывает определенную корреляцию, историческая – нет. Метод, описанный в новом ГОСТ 32047-2012, может использоваться только в новом строительстве, для существующей кладки он неприменим.

С.В. Зубков в своем докладе рассказал о методе flat-jack testing, или плоских домкратов. При использовании этого метода элемент кладки испытывается прямо внутри конструкции: в горизонтальные пропилы на определенном расстоянии друг от друга вставляются домкраты, которые доводят фрагмент кладки до полуразрушения. За рубежом этот метод используется довольно активно: стандарты на использование flat-jack testing были разработаны в Италии, затем в США. Тем не менее, по мнению докладчиков, стандарты ASTM (США) недостаточно проработаны, например, непонятно, каким образом в них учитывается жесткость кладки. Для испытаний метода в российских условиях С.В. Зубков с коллегами при поддержке НПП «Интерприбор» разработали собственный аналог данного прибора. Его испытания ведутся в данный момент.

В докладе Сергея Борисовича Шматкова, к.т.н., директора ООО «Спецвысотстройпроект» (Челябинск), освещалось обследование таких специфических сооружений, как дымовые трубы. Конкретно он рассказывал о железобетонных дымовых трубах первой массовой серии – построенных в 1940-х–60-х гг. Технология их строительства была заимствована из США и Канады сразу после Великой отечественной войны. С.Б. Шматков, имея значительный опыт обследования таких труб, выделил основные причины их обрушения.

1. Недостатки проектирования:
   - низкая проектная прочность бетона;
   - ненормируемые морозостойкость и водонепроницаемость бетона;
   - малое количество арматуры, использование ее только по наружной грани – «однослойное армирование»;
   - узлы футеровки выполнены для «сухого» режима работы, а трубы эксплуатируется в «мокром».
2. Недостатки строительства в основном вызваны тем, что бетон готовился на объекте:
   - прочность бетона в разы ниже проектной;
   - очень крупный заполнитель;
   - заниженный защитный слой бетона;
   - оголенная арматура;
   - плохое уплотнение бетона.
3. Недостатки эксплуатации связаны с изменением вида топлива: трубы, спроектированные под уголь, сейчас в основном используются для природного газа. Это приводит к принципиальной смене температурно-влажностного режима.

Помимо собственно методов обследования и диагностики важным вопросом является интерпретация полученных при обследовании данных. Иногда при нестандартных испытаниях процесс получения каких-либо закономерностей достаточно сложен. О таком опыте рассказывал в своем докладе «Использование когнитивных технологий для обработки экспериментальных данных» Сергей Николаевич Савин, д.т.н., профессор Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. На примере исследования гнутых арматурных стыков докладчик рассказал об осмыслении результатов с использованием технологии обработки SpaceWalker. Она позволяет с помощью создания специальных облаков данных выявить корреляции и отследить, при каких условиях исследуемые точки связаны между собой. Этот метод обработки результатов помог С.Н. Савину понять, что влияние арматуры при высоких динамических нагрузках несущественно по сравнению с уровнем динамической нагрузки.

В качестве своеобразного резюме можно привести вывод по докладу директора ООО «РостПроект» Антона Ивановича Изместьева. Он рассказывал об опыте обследования чаши бассейна в Челябинске, которая полностью обрушилась еще до введения в эксплуатацию. Результаты обследования показали, что и проект изначально не обеспечивал требуемую несущую способность, и при строительстве были допущены принципиальные нарушения технологии. Кроме того, вина за случившееся в данном случае лежит и на техническом надзоре, закрывшем глаза на данные нарушения и отсутствие необходимых гидравлических испытаний. Таким образом, ответственность не только за качество строительства, но и за жизнь и здоровье людей, находящихся в здании, несут все участники жизненного цикла здания: проектная организация, строители, эксплуатационная компания и даже обследователи.

Текст: В.М. Якубсон, Е.И. Архипова
Фотографии: В.В. Коренев

doi: 10.5862/MCE.58.2

Вентильная головка к водоразборной арматуре с высокой регулирующей способностью

Valve head for water fittings with high regulatory capacity

Д-р техн. наук, заведующий кафедрой А.П. Свинцов,
канд. техн. наук, доцент М.И. Харун,
канд. техн. наук, доцент С.А. Мукарзель,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

A.P. Svintsov,
M.I. Kharun,
S.A. Mukarzel,
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Ключевые слова: водоразборная арматура; туалетный кран; вентильная головка; запорная пара; расход воды; регулирующая способность; потери воды.

Key words: water fittings; water tap; valve head; locking pair; water flow; regulatory capacity; water loss.

Аннотация. Водоразборная арматура является необходимым элементом комплектования систем внутреннего водопровода зданий. Одна из ее важнейших технических характеристик - регулирующая способность. В настоящее время в системах внутреннего водопровода зданий наиболее широко используются вентильные головки с плоскими керамическими запорными элементами, которые характеризуются высокой износостойкостью и работают без утечек воды. Регулирующая способность этих элементов зависит от формы проходного отверстия. Наибольшее распространение получили отверстия в виде секторов или полукруга, однако оснащенные ими вентильные головки имеют низкую регулирующую способность: при незначительном повороте рукояти расход воды резко изменяется. Потребитель вынужден затрачивать много времени на регулирование расхода с желаемой температурой, не используя воду в этот период по назначению. В результате чистая водопроводная вода удаляется в систему канализации без полезного использования, то есть происходит непроизводительный расход. Для повышения регулирующей способности водоразборной арматуры целесообразно применять плоскую запорную пару с проходным отверстием, имеющим плавно изменяющуюся форму сечения. Такая форма позволяет регулировать расход воды пропорционально повороту рукояти вентильной головки. Авторами предложена методика расчета площади проходного отверстия с плавно изменяющейся формой сечения, основанная на кусочно-элементном методе. Данная методика позволяет определять площадь проходного отверстия при проектировании арматуры различного назначения, а также геометрические параметры этой конструкции. Применение водоразборной арматуры с запорной парой, рассчитанной по предложенной методике, позволяет снизить потери водопроводной воды питьевого качества на 12…15 % по сравнению с вентильными головками других типов.

Abstract. Water fittings are a necessary element of equipment for building plumbing systems. One of the main technical characteristics of water fittings is their regulatory capacity. Currently, valve heads with flat ceramic locking elements are widely used in plumbing systems. Ceramic locking elements work with a high abrasion resistant and without water leaks. Regulatory capacity of flat locking elements depends on orifice shape. Valve heads that are equipped with flat-locking elements with semicircle or sector-shaped orifices have a low regulatory capacity. When the tap is opened or closed, the water flow changes abruptly with a slight turn of the handle. The water consumer is forced to spend more time in controlling the water flow with a desired temperature without using the water. As a result, clean tap water flows into the sewage system without actually being used, which is unproductive expenditure. The application of a flat locking pair with a smoothly changing shape is advisable to improve the regulatory capacity of water fittings. This form of orifice allows to change the water flow in proportion to the rotation of valve head handle. The proposed method of calculation allows to determine the orifice area to design the valve and its geometric parameters. The use of water fittings with a locking pair that is calculated by the proposed method can reduce the water loss by 12…15 % compared to other types of valve heads.

Введение

Санитарно-техническая водоразборная арматура относится к материалам и изделиям, применяемым в системах жизнеобеспечения различных объектов строительства, в частности, внутренних водопроводов зданий и сооружений. При этом конструктивные и водосберегающие характеристики водоразборной арматуры имеют ключевое значение для рационального и бережного использования водных ресурсов в целом и водопроводной воды питьевого качества в частности.

В настоящее время водоразборная арматура вентильного типа оснащена, в основном, плоскими керамическими запорными элементами шайбового типа. Вентильные головки с запорными элементами поршневого типа можно считать уходящими из области практического использования.

Вентильные головки, оснащенные плоскими керамическими запорными парами, характеризуются высокой износостойкостью и работают практически без утечек воды. В то же время при использовании такой водоразборной арматуры с парами, имеющими проходное отверстие в виде полукруга или взаимно противоположных секторов, потребители затрачивают относительно много времени на регулирование расхода воды и температуры. Это приводит к потерям воды в виде непроизводительных расходов.

Для снижения таких потерь целесообразно применение вентильных головок с плоскими керамическими запорными парами, имеющими проходное отверстие с плавно изменяющейся формой, подобной изогнутой капле. Эта форма позволяет регулировать расход воды пропорционально повороту рукояти вентильной головки.

Одной из важнейших задач проектирования водоразборной арматуры является расчет площади проходного отверстия в запорной паре для пропуска расчетного расхода воды при расчетном давлении. Для ее решения разработана методика, базирующаяся на кусочно-элементном методе определения площади геометрической фигуры.

Предложенный метод относительно прост в использовании и позволяет определять площадь проходного отверстия для пропуска заранее известного (расчетного) расхода воды, а также геометрические параметры конструируемой водоразборной арматуры. Стендовые испытания водоразборной арматуры с запроектированной в соответствии с представленной методикой запорной парой показали высокую регулирующую способность вентильной головки такой конструкции.

Анализ состояния вопроса

Санитарно-техническая водоразборная арматура является одним из конструктивных материалов систем внутреннего водопровода зданий различного назначения. Одна из важнейших характеристик водоразборной арматуры – это ее регулирующая способность. Конструктивные и гидравлические особенности водоразборной арматуры зависят от требований, предъявляемых к ней при эксплуатации в тех или иных условиях.

Результаты разработки и исследования санитарно-технической арматуры представлены как в российской, так и в зарубежной научной периодической печати. При этом авторы публикаций акцентируют внимание на различных направлениях использования водоразборной арматуры и водопроводной воды.

Известно, что посредством воды передаются многие заболевания. При этом важно отметить, что контакты людей с элементами управления водоразборной арматурой способствуют распространению подобных инфекций. В связи с этим на предприятиях пищевой промышленности, общественного питания и в лечебных учреждениях все большее распространение получает водоразборная арматура автоматического действия [1]. Это способствует улучшению гигиенических условий использования водопроводной воды в местах повышенного риска. В то же время конструктивная особенность водопроводной арматуры указанного типа сдерживает ее использование в системах водоснабжения жилых зданий в связи с незначительным риском передачи инфекционных заболеваний в относительно узком кругу пользователей. В упомянутой публикации вопросы водосбережения и регулирующей способности арматуры автоматического действия не рассматривались.

Водоразборную арматуру изготавливают из различных материалов, устойчивых к воздействию воды. В процессе контактов с водой поверхность арматуры выделяет в нее соответствующие примеси. В работе [2] показано, что применение водоразборных и запорных

вентилей с бронзовым запорным элементом вызывает повышение содержания в воде меди и свинца. Гидравлические и водосберегающие характеристики водоразборной арматуры в данной работе рассмотрены не были.

Одним из важнейших направлений эксплуатации водоразборной арматуры является повышение экономической эффективности и рационального использования водопроводной воды в жилых зданиях. Для этого предложено устанавливать в душевых системах ограничители расхода воды [3]. Показано, что рекомендованные устройства эффективны там, где душевые установки используются в течение длительного времени непрерывно.

Водоразборная санитарно-техническая арматура с водосберегающими характеристиками оказывает положительное влияние на решение одной из важнейших проблем водоснабжения – снижение потерь воды. Вызванные различными причинами, эти потери сдерживают решение задач по эффективному использованию водных ресурсов и могут способствовать загрязнению окружающей среды. Это особенно актуально в условиях дефицита пресной воды, а также в связи с ростом стоимости производства питьевой воды из-за повышенной загрязненности источников водоснабжения [4, 5].

Проблема водосбережения и снижения потерь воды характерна для многих стран мира, а различные ее аспекты исследуются Международной водной ассоциацией (IWA) с целью улучшения условий водоснабжения населения [6, 7, 8]. На основе анализа методов снижения потерь воды, предложенного IWA, установлено, что применение современной арматуры позволяет снизить потери воды до экономически приемлемого уровня [9]. В рамках выполненного анализа водоразборная арматура вентильного типа и ее регулирующая способность не рассматривались.

Известно значительное влияние водосберегающей арматуры с улучшенными регулирующими и расходными характеристиками на удельные показатели водопотребления в жилых зданиях [10]. При этом конструктивные особенности и регулирующая способность водоразборной арматуры вентильного типа с плоскими керамическими запорными элементами не рассмотрены.

Исследованиями выявлено, что наличие в потоке жидкости твердых включений различной крупности приводит к быстрому износу уплотнительных поверхностей затвора и к снижению ресурса по цикличности [11]. В сопоставительном анализе акцентировано внимание на положительных особенностях двухсегментного клапана и эксцентрикового крана, работающих на любых проходных сечениях для рабочих сред с любой загрязненностью.

В системах внутреннего водопровода не исключены случаи транспортирования водой твердых включений. Это можно наблюдать после отключения воды по различным причинам: остановка насосов, профилактический ремонт и т. п. При анализе работы различных конструктивных решений арматуры характеристики водосбережения и регулирования не рассматривались.

Применение водоразборной санитарно-технической арматуры с водосберегающими гидравлическими характеристиками способствует улучшению условий использования водных ресурсов. Это, в свою очередь, служит основой решения важной научно-технической проблемы – расширения доступа населения к инфраструктурным системам жизнеобеспечения [12, 13].

В настоящее время санитарно-техническая водоразборная арматура вентильного типа в основном оснащена плоским керамическим запорным элементом шайбового типа, технические решения которого представлены, например, в [14, 15]. Благодаря высокой износостойкости керамических поверхностей элементов запорной пары эта водоразборная арматура работает практически без утечек воды. Водоразборная арматура вентильного типа с плоскими керамическими запорными элементами характеризуется более высокой надежностью по сравнению с вентильными головками поршневого типа [16]. При анализе показателей безотказности арматуры ее водосберегающие характеристики и регулирующая способность не были рассмотрены.

В работе [17] отмечены основные узлы арматуры, подвергаемые наиболее интенсивному износу, и предложен метод оценки показателей надежности и выявления динамики развития износа запорных элементов для разработки эффективной тактики восстановительных мероприятий. Однако в представленной публикации вопросы регулирующей способности арматуры не рассматривались.

Одной из важнейших функций водоразборной арматуры является регулирование расхода воды пользователем в процессе водопотребления. Для вентильных головок, оснащенных плоскими запорными элементами, характерна низкая регулирующая способность: при незначительном повороте рукояти управления расход воды резко изменяется в сторону увеличения или уменьшения. Для того чтобы установить нужный расход воды с желаемой температурой, потребитель затрачивает больше времени, чем если бы изменения происходили пропорционально повороту рукояти вентильной головки. Низкая регулирующая способность водоразборной арматуры обусловливает непроизводительные расходы воды: в процессе регулирования вода потребителем не используется. При этом данное количество воды прошло через прибор учета водопотребления и подлежит оплате, что не способствует рациональному использованию бюджета домохозяйства.

Существуют вентильные головки с плоскими запорными парами, гидравлические характеристики которых свободны от указанных недостатков [18, 19]. Особенностью данных технических решений является плоская запорная пара с плавным изменением сечения проходного отверстия в виде изогнутой капли.

Одним из важнейших этапов проектирования водоразборной арматуры является определение площади проходного отверстия. Вопросы расчета и проектирования гидравлических устройств различного назначения представлены в работах по инженерной гидравлике, где основное внимание уделено определению коэффициентов местных сопротивлений и их зависимости от формы проходного отверстия и гидравлического тракта. В указанных источниках информации рассмотрены площади проходного отверстия классического типа: круг, полукруг, сектор. Проходные отверстия с плавно изменяющейся формой в представленных работах не рассмотрены.

В работах [20, 21] представлен метод проектирования плоского клапана вентильной головки, а также выполнен краткий сравнительный анализ гидравлической работы проходных отверстий: круг, секторы, плавно изменяющаяся форма. Однако методика определения площади проходного отверстия с плавно изменяющейся формой представлена недостаточно полно. Это сдерживает возможности проектирования водоразборной арматуры вентильного типа с плоскими запорными элементами.

Методы исследования и аппаратура

Для определения площади проходного отверстия с плавно изменяющейся формой использован кусочно-элементный метод расчета. На основе разработанной методики выполнен расчет площади проходного отверстия для запорной пары шайбового типа на пропуск минимального расхода воды 0,07 л/с при давлении перед арматурой 0,05 МПа. Величина расчетного расхода воды определена по формуле гидравлики:

$$q = \mu\omega\sqrt{2gH}\ , \qquad (1)$$

где μ – коэффициент расхода; ω – площадь живого сечения проходного отверстия запорной пары; g – ускорение свободного падения; H – давление перед арматурой.

Экспериментальная проверка работы вентильной головки, оснащенной плоской запорной парой шайбового типа, выполнена на лабораторном стенде с возможностью создания и регулирования перед водоразборной арматурой статического давления от 0 до 1,0 МПа. К исследованию принят туалетный кран вентильного типа. Вентильная головка снабжена плоским запорным элементом с проходным отверстием в виде секторов, полукруга и с плавно изменяющейся формой сечения.

Для определения расхода воды использованы ротаметры диаметром 15 и 40 мм с погрешностью не более ±2,5 % для верхних значений. Расходы воды ниже предела чувствительности ротаметров определены с использованием мерной емкости объемом 1 л. При этом для определения продолжительности заполнения емкости использован хронометр с точностью измерения 0,1 с.

Измерения расхода воды выполнены при давлениях 0,05; 0,1; 0,3; 0,6 МПа при постепенном открывании туалетного крана и осуществлялись поворотом рукояти вентильной головки на угол от 0° до 180° с шагом 10°. Для определения угла поворота использована круговая шкала с ценой деления 1°. Количество измерений на каждом шаге давления перед арматурой принято в соответствии с планом эксперимента для получения статистически значимых результатов

с надежностью 0,95. Математическая обработка экспериментальных данных выполнена с использованием методов математической статистики.

Использование кусочно-элементного метода позволило авторам разработать способ определения расчетной площади проходного отверстия с плавно изменяющейся формой сечения для плоских запорных пар шайбового типа.

Использование указанных приборов, элементов и методов исследования позволило получить статистически значимые и достоверные данные об изменении расхода воды через туалетный кран, оснащенный плоской запорной парой с проходным отверстием новой формы.

Результаты и их обсуждение

Водоразборная арматура систем внутреннего водопровода в основном оснащена вентильными головками с плоскими запорными парами шайбового типа, выполненными из керамики или металлокерамики. Указанные запорные пары выполнены с проходным отверстием в виде секторов (рис. 1*б*) или полукруга (рис. 1*в*). При относительно высокой износостойкости и работе практически без самопроизвольного истечения воды вентильные головки с запорной парой указанного типа имеют низкую регулирующую способность. Как уже говорилось, это приводит к непроизводительным расходам воды и дополнительным затратам на их оплату.

Более эффективным в отношении бережного использования воды является отверстие с плавно изменяющейся формой (рис. 1*г*).

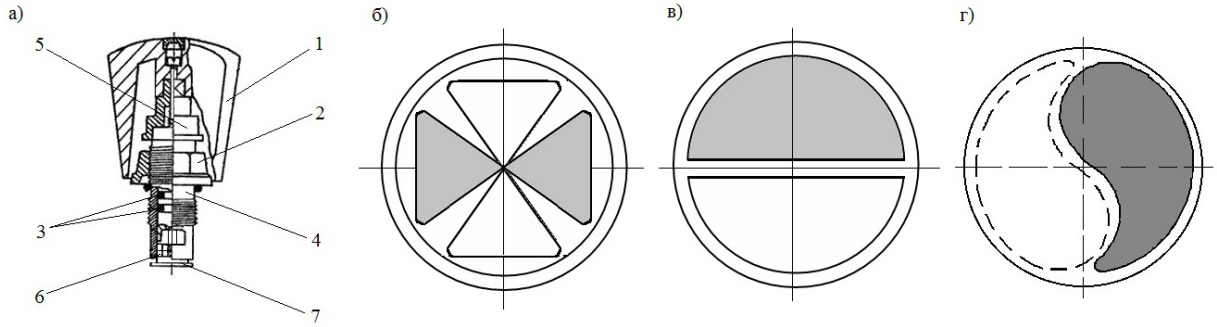


Рисунок 1. Вентильная головка с запорной парой шайбового типа:
***а*) вентильная головка; *б*) запорная пара с проходными отверстиями в виде секторов;**
***в*) запорная пара с проходным отверстием в виде полукруга;**
***г*) запорная пара с проходным отверстием в виде изогнутой капли**

При проектировании вентильных головок шайбового типа с плавно изменяющимся сечением проходного отверстия в форме изогнутой капли одной из наиболее ответственных задач является определение его площади.

Схема проходного отверстия представлена на рисунке 2.

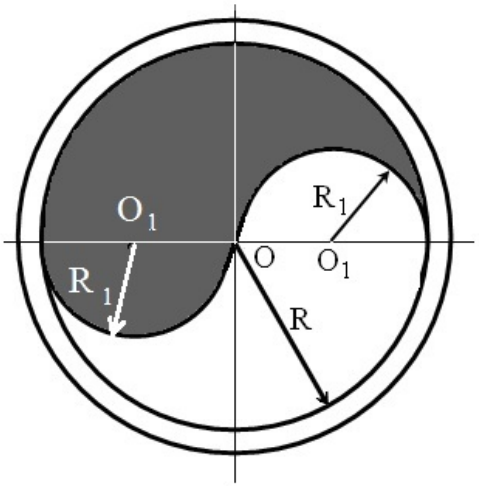


Рисунок 2. Схема проходного отверстия с плавно изменяющейся формой «изогнутая капля»

В схеме проходного отверстия радиусы имеют следующие соотношения: $OO_1 = R_1$; $2R_1 \leq R$.

Для удобства формирования математической идеи целесообразно представить форму проходного отверстия (рис. 2) в виде расчетной схемы (рис. 3).

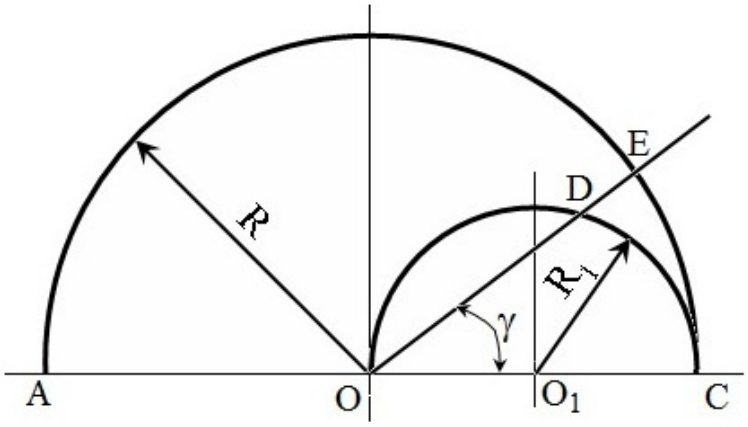


Рисунок 3. Расчетная схема формы проходного отверстия запорной пары с плавно изменяющейся формой сечения

Внешняя дуга CA с радиусом R проходного отверстия относительно центра O описывается следующим уравнением в параметрической форме:

$$X(\alpha) = R\cos(\alpha)$$
$$Y(\alpha) = R\sin(\alpha) \quad , \tag{2}$$

где α изменяется от γ до π (γ – угол между центральной осью шайбы и лучом, выходящим из центра O).

Прямая линия AO описывается уравнением в параметрической форме:

$$y(x) = 0 \, , \tag{3}$$

где *x* изменяется от −R до 0.

Вогнутая дуга *OC* с радиусом R_1 из центра O_1 описывается уравнением в параметрической форме:

$$X_1(\alpha_1) = R_1[\cos(\alpha_1) + 1]$$
$$Y_1(\alpha_1) = R_1 \sin(\alpha_1) \quad , \tag{4}$$

где α_1 – угол, изменяющийся от 0 до π.

Максимальная площадь сечения проходного отверстия запорной пары (рис. 4) определяется по формуле:

$$\omega_{зп}^{\max} = S - S_1 \, , \tag{5}$$

где S – площадь фигуры ACO,

$$S = \frac{\pi R^2}{2} \, , \tag{6}$$

где R – радиус наружной дуги проходного отверстия, $R = 0{,}8R_D$, R_D – радиус шайбы;
S_1 – площадь фигуры ODB образована радиусом R_1 (рис. 4),

$$S_1 = \frac{\pi R_1^2}{2} \, , \tag{7}$$

где R_1 – радиус внутренней дуги проходного отверстия.

Площадь сечения проходного отверстия запорной пары (рис. 4) определяется по формуле:

$$\omega_{зп} = S^{OEC} - S^{ODB} - S_1, \tag{8}$$

где S^{OEC} – площадь сектора OEC, образована радиусом *R* (рис. 4):

$$S^{OEC} = \int_0^{R\cos\gamma} X \tan\gamma dX + \int_{R\cos\gamma}^{R} \sqrt{R^2 - X^2}\, dX, \tag{9}$$

где γ – угол поворота рукояти вентильной головки, изменяющийся от 0 до π;

S^{ODB} – площадь фигуры ODB (рис. 4), которая изменяется от 0 до π/2:

$$S^{ODB} = \int_0^{R_1 2\cos^2\gamma} X \tan\gamma dX + \int_{2R_1\cos^2\gamma}^{2R_1} \sqrt{R_1^2 - (X - R_1)^2}\, dX; \tag{10}$$

S_1 – площадь фигуры ODB, образованной радиусом R_1, которая изменяется от π/2 до π (рис. 4),

$$S_1 = \int_0^{R_1 2\cos^2 \pi/2} X \tan\gamma dX + \int_{2R_1\cos^2 \pi/2}^{2R_1} \sqrt{R_1^2 - (X - R_1)^2}\, dX = \frac{R_1^2 \pi}{2}. \tag{11}$$

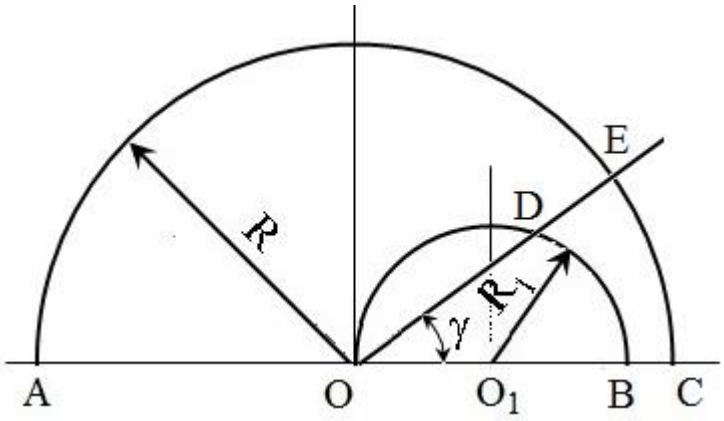


Рисунок 4. Форма проходного отверстия

Подставляя (9), (10), (11) в уравнение (8), получаем:

$$\omega_{зп} = \int_0^{R\cos\gamma} X \tan\gamma dX + \int_{R\cos\gamma}^{R} \sqrt{R^2 - X^2}\, dX -$$
$$- \left[\int_0^{R_1 2\cos^2\gamma} X \tan\gamma dX + \int_{2R_1\cos^2\gamma}^{2R_1} \sqrt{R_1^2 - (X - R_1)^2}\, dX \right] \left(\gamma \le \frac{\pi}{2}\right) - \left(\frac{R_1^2 \cdot \pi}{2}\right)\left(\gamma > \frac{\pi}{2}\right). \tag{12}$$

Уравнение (12) позволяет определить параметры проходных отверстий запорных пар шайбового типа для вентилей и вентильных головок водоразборной арматуры любого назначения. При этом возможно два варианта решения задачи:

- на основе имеющихся геометрических параметров определять площадь проходного отверстия;
- задаваясь требуемой площадью, определять геометрические параметры проходного отверстия.

По представленной методике авторами выполнен расчет площади проходного отверстия и его геометрических параметров. В соответствии с расчетом изготовлены и испытаны опытные

образцы. При проектировании запорной пары с плавно изменяющимся сечением проходного отверстия основное внимание уделено обеспечению минимального расхода воды при полностью открытом кране и давлении 0,05 МПа. Изменение расходных характеристик рассчитанной по разработанной методике запорной пары представлено на рисунке 5.

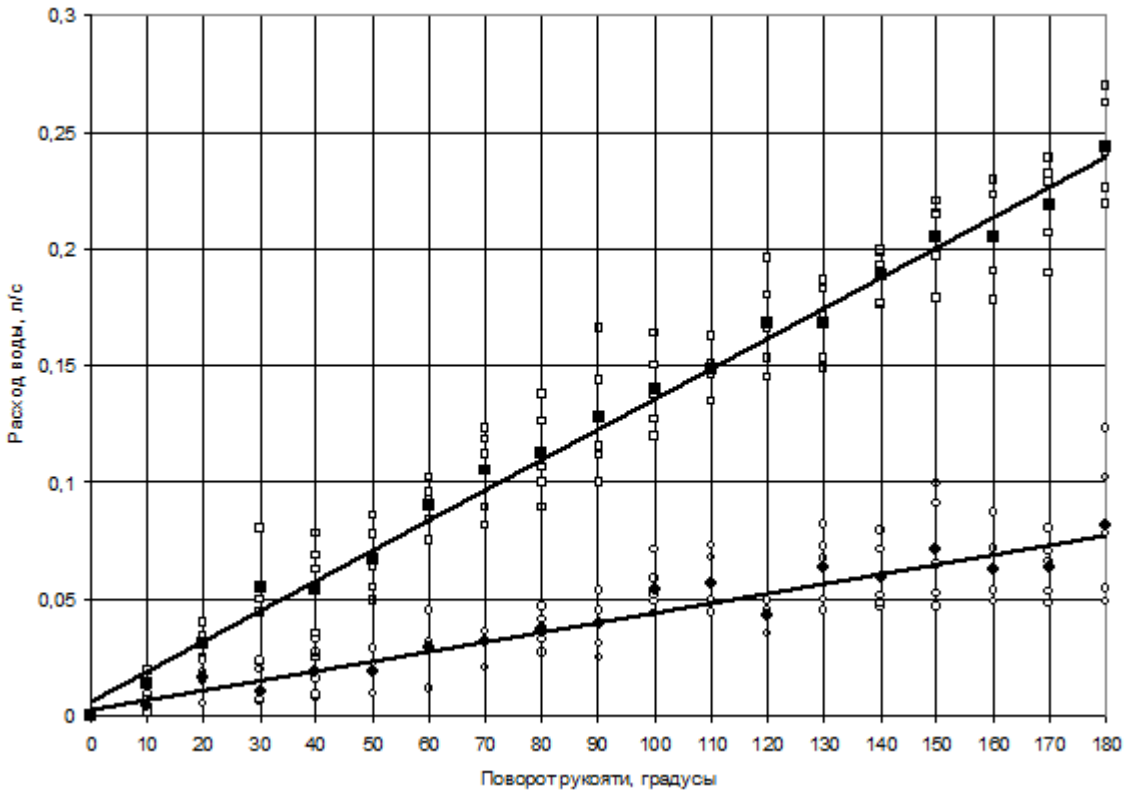


Рисунок 5. Изменение расхода воды через отверстие с плавно изменяющейся формой сечения

Экспериментально установлено, что при полностью открытом кране и давлении 0,05 МПа расход воды не ниже расчетного минимального значения. При всех давлениях, при которых выполнены стендовые испытания, расход воды изменяется практически линейно по мере открытия крана. Это свидетельствует о высокой регулирующей способности вентильной головки, снабженной плоской запорной парой с плавно изменяющимся сечением проходного отверстия. Линейное изменение расхода воды позволяет затрачивать незначительное время на регулировку требуемого расхода воды с желаемой температурой при минимальных непроизводительных расходах, неизбежных при водопотреблении.

Для сравнения авторами выполнено стендовое испытание вентильных головок с плоскими запорными парами шайбового типа в виде секторов и в виде полукруга. На рисунках 6 и 7 представлены диаграммы изменения расхода воды по мере открывания туалетного крана для таких проходных отверстий.

Анализ диаграмм показывает, что расходы воды отличаются по абсолютному значению, но по характеру изменения они очень близки. В диапазоне поворота рукояти до 20…30° расход очень мал и не может удовлетворить потребности водопользователя, который продолжает открывать кран в ожидании увеличения напора. При повороте рукояти на угол до 50° и больше расход резко увеличивается приблизительно на 200…300 %. Поворот рукояти на 100° и более не приводит к значительному изменению расхода воды, особенно при низком (0,05 МПа) давлении. Даже незначительный поворот рукояти в диапазоне 50…100° при свободном повороте кисти руки резко изменяется. Резкое изменение расхода воды является следствием низкой регулирующей способности водоразборной арматуры.

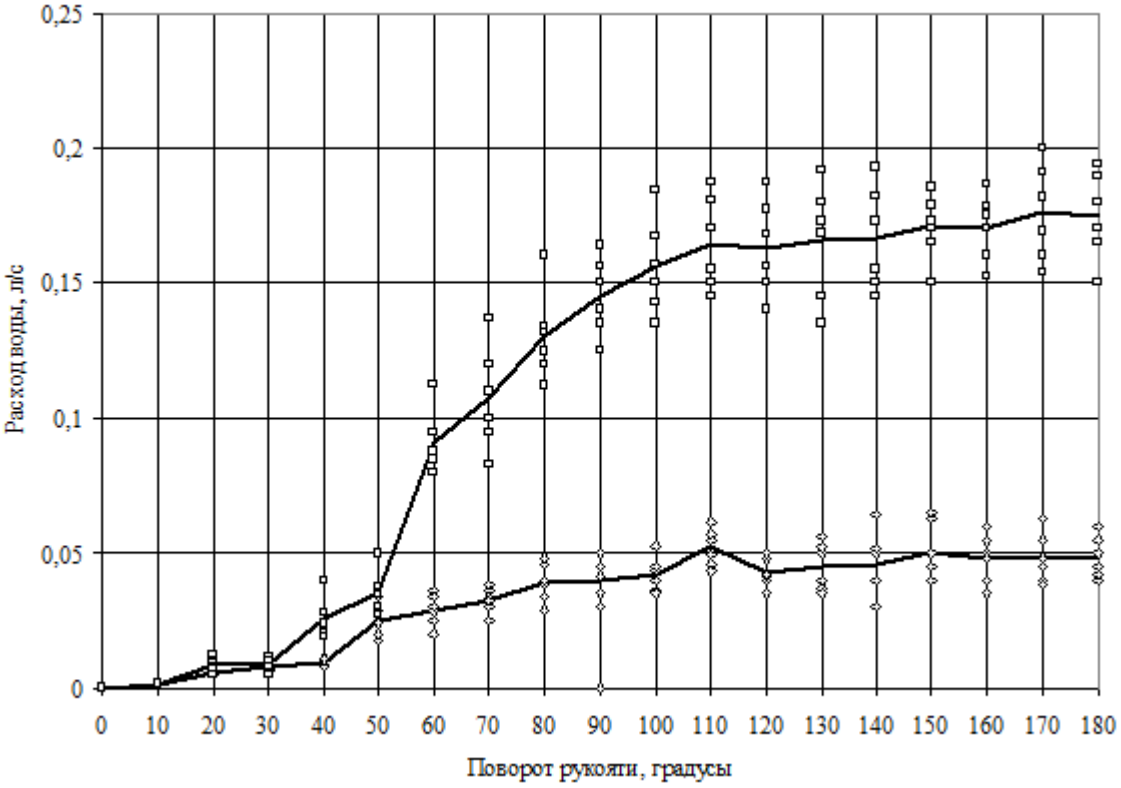


Рисунок 6. Изменение расхода воды через проходное отверстие в виде секторов

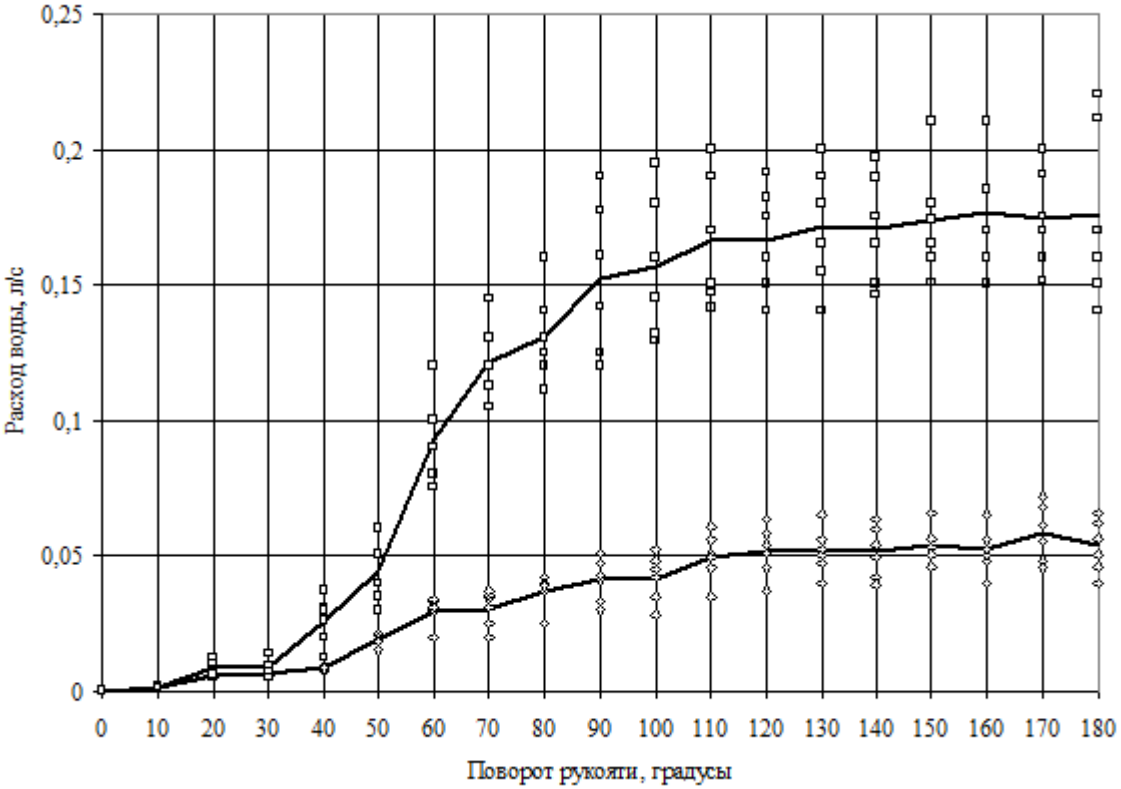


Рисунок 7. Изменение расхода воды через проходное отверстие в виде полукруга

Сравнительный анализ диаграмм показывает, что вентильная головка, оснащенная запорной парой с плавно изменяющейся формой проходного отверстия, позволяет регулировать расход воды, изменяя его величину пропорционально открытию крана.

Заключение

Водоразборная арматура вентильного типа как элемент системы внутреннего водопровода, оснащенная плоской запорной парой с проходным отверстием в виде изогнутой капли, является перспективным санитарно-техническим материалом с водосберегающими характеристиками. Оснащение водоразборной арматуры для систем внутреннего водопровода вентильными головками с плоскими запорными элементами, имеющими проходное отверстие с плавно изменяющейся формой, позволяет существенно снизить потери водопроводной воды.

В результате теоретических и экспериментальных исследований предложена методика определения площади проходного отверстия с плавно изменяющейся формой сечения в виде изогнутой капли для плоской запорной пары водоразборной арматуры вентильного типа. Предложенная методика позволяет определять площадь проходного отверстия для пропуска расчетного расхода воды при расчетном давлении. Методика позволяет также определять расход воды при известном давлении в зависимости от степени открытия проходного отверстия.

Стендовые испытания водоразборной арматуры с запорной парой, рассчитанной по предложенной методике, показали высокую регулирующую способность и линейное изменение расхода воды в зависимости от открытия крана.

Проверка в условиях эксплуатации показала высокую водосберегающую эффективность водоразборной арматуры с проходным отверстием, рассчитанным по предложенной методике. Для семьи из трех человек экономия воды составляет 12…15 % в месяц по сравнению с арматурой, в которой установлены запорные пары в виде секторов или полукруга.

Литература

1. Halabi M., Wiesholzer-Pittl M., Schöberl J., Mittermayer H. Non-touch fittings in hospitals: a possible source of Pseudomonas aeruginosa and Legionella spp // Journal of Hospital Infection. 2001. Vol. 49. Issue 2. Pp. 117–121.
2. Triantafyllidou S., Raetz M., Parks J., Edwards M. Understanding how brass ball valves passing certification testing can cause elevated lead in water when installed // Water Research. 2012. Vol. 46. Issue 10. Pp. 3240–3250.
3. Kordana S., Słyś D., Dziopak J.. Rationalization of water and energy consumption in shower systems of single-family dwelling houses // Journal of Cleaner Production. 2014. Vol. 82. Pp. 58–69.
4. Barbooti M..M., Bolzoni G., Mirza I.A., Pelosi M, Barilli L., Kadhum R., Peterlongo G. Evaluation of quality of drinking water from Baghdad, Iraq // Science World Journal. 2010. Vol. 5. № 2. Pp. 35–46.
5. Hirji R. Environmental flows in water resources policies, plans, and projects: findings and recommendations. Washington: World bank, cop. 2009. 189 p.
6. Bailey D. The emerging co-existence of regulation and competition in the UK water industry // World Competition. 2002. Vol. 25. № 2. Pp. 127–158.
7. Mckay J., Moeller A. Duty and standards of care for drinking water regulation in Australia // Environment, Development and Sustainability. 2001. Vol. 3. № 2. Pp. 127–143.
8. Thanassoulis E. The use of data envelopment analysis in the regulation of UK water utilities: water distribution // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 126. № 2. Pp. 436–453.
9. Зайцева С.Г. Внедрение современной трубопроводной арматуры как метод снижения потерь воды и повышения энергоэффективности // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 3. С. 61–65.
10. Макотрина Л.В., Лазарева С.О. Водосбережение – одни из направлений выполнения закона об

References

1. Halabi M., Wiesholzer-Pittl M., Schöberl J., Mittermayer H. Non-touch fittings in hospitals: a possible source of Pseudomonas aeruginosa and Legionella spp. *Journal of Hospital Infection*. 2001. Vol. 49. Issue 2. Pp. 117–121.
2. Triantafyllidou S., Raetz M, Parks J, Edwards M. Understanding how brass ball valves passing certification testing can cause elevated lead in water when installed. *Water Research*. 2012. Vol. 46. Issue 10. Pp. 3240–3250.
3. Kordana S., Słyś D., Dziopak J. Rationalization of water and energy consumption in shower systems of single-family dwelling houses. *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 82. Pp. 58–69.
4. Barbooti M.M., Bolzoni G., Mirza I.A., Pelosi M, Barilli L., Kadhum R., Peterlongo G. Evaluation of quality of drinking water from Baghdad, Iraq. *Science World Journal*. 2010. Vol. 5. No. 2. Pp. 35–46.
5. Hirji R: *Environmental flows in water resources policies, plans, and projects: findings and recommendations*. Washington: World bank, cop. 2009. 189 p.
6. Bailey D. The emerging co-existence of regulation and competition in the UK water industry. *World Competition*. 2002. Vol. 25. No. 2. Pp. 127–158.
7. Mckay J., Moeller A. Duty and standards of care for drinking water regulation in Australia. *Environment, Development and Sustainability*. 2001. Vol. 3. No. 2. Pp. 127–143.
8. Thanassoulis E. The use of data envelopment analysis in the regulation of UK water utilities: water distribution. *European Journal of Operational Research*. 2000. Vol. 126. No. 2. Pp. 436–453.
9. Zaytseva S.G. Vnedreniye sovremennoy truboprovodnoy armatury kak metod snizheniya poter vody i povysheniya energoeffektivnosti [Contemporary pipe fitting introduction as method of water loss drop and boost energy efficiency]. *Water Supply and Sanitary Technique*. No. 3. 2012.

энергосбережении // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 8 (55). С. 105–110.

11. Евсиков В.Е. Сопоставительный анализ существующий конструкций арматуры с поворотными затворами, с новым двухсегментным клапаном и краном эксцентриковым // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2008. № 6. С. 66–71.
12. Thanassoulis E. DEA and its use in the regulation of water companies // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 127. № 1. Pp. 1–13.
13. Hartman J. Saving water during a rainy day // Civil Engineering. 2002. Vol. 72. № 6. Pp. 30.
14. Шатковский Б.А., Мальцев В.В. Вентильная головка. Патент РФ № 2234629. Бюл. № 23. 20.08.2004.
15. Храменков С.В., Подковыров В.П., Чешля Р.Р., Чупраков Ю.И. Вентильная головка. Патент РФ № 2242659. Бюл. № 35. 20.12.2004.
16. Свинцов А.П., Малов А.Н., Николенко Ю.В., Глебов Е.А., Гусаков С.В. Надежность санитарно-технической арматуры в эксплуатационных условиях // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №6. С. 58–63.
17. Быков И.Ю., Колотовский А.Н., Ермоленко Н.М., Адаменко С.В. Оценка эксплуатационной надежности запорной арматуры статистическими методами // Газовая промышленность. 2006. № 6. С. 58–62.
18. Свинцов А.П., Мукарзель С.А., Мукарзель К.А. Сменный клапанный узел. Патент РФ №2230963. Бюл. №15. 20.06.2004.
19. Свинцов А.П., Мукарзель С.А., Глебов Е.,А., Шубин А.М., Щесняк Л.Е. Вентильная головка. Патент РФ №2434170. Бюл. № 32. 20.11.2011.
20. Свинцов А.П., Мукарзель С.А, Сученко В.Н., Глебов Е.А. Методика расчета площади проходного отверстия плоского клапана вентильной головки // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 4.С. 40–42.
21. Свинцов А.П., Мукарзель С.А., Щесняк Л.Е. Методика расчета вентильной головки для водоразборной арматуры // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 4. С. 44–46.

Pp. 61–65. (rus)

10. Makotrina L.V., Lazareva S.O. Vodosberezheniye – odni iz napravleniy vypolneniya zakona ob energosberezhenii [Water economy – one of ways of enforcing of law of conservation of energy]. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2011. No. 8 (55). Pp. 105–110. (rus)
11. Yevsikov V.Ye. Sopostavitelnyy analiz sushchestvuyushchiy konstruktsiy armatury s povorotnymi zatvorami, s novym dvukhsegmentnym klapanom i kranom ekstsentrikovym [Comparative analysis of going fitting structure with wicket gates, new double-seat valve and off-centre valve]. *Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*. 2008. No. 6. Pp. 66–71. (rus)
12. Thanassoulis E. DEA and its use in the regulation of water companies. *European Journal of Operational Research.* 2000. Vol. 127. No. 1. Pp. 1–13.
13. Hartman J. Saving water during a rainy day. *Civil Engineering.* 2002. Vol. 72. No. 6. Pp. 30.
14. Shatkovskiy B.A., Maltsev V.V. *Ventilnaya golovka. Patent RF № 2234629. Byul.* No. *23. 20.08.2004 [Headwork. Patent Rus. No. 2234629. Bul. No. 23. 20.08.2004.]*. (rus)
15. Khramenkov S.V., Podkovyrov V.P., Cheshlya R.R., Chuprakov Yu.I. *Ventilnaya golovka. Patent RF № 2242659. Byul. No.35. 20.12.2004 [Headwork. Patent Rus. No. 2242659. Bul. No. 35. 20.12.2004].* (rus)
16. Svintsov A.P., Malov A.N., Nikolenko Yu.V., Glebov Ye.A., Gusakov S.V. Nadezhnost sanitarno-tekhnicheskoy armatury v ekspluatatsionnykh usloviyakh [Safety of sanitary fitting in operating conditions]. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2009. No. 6. Pp. 58–63. (rus)
17. Bykov I.Yu., Kolotovskiy A.N., Yermolenko N.M., Adamenko S.V. Otsenka ekspluatatsionnoy nadezhnosti zapornoy armatury statisticheskimi metodami [Maintainability of stop valve assessment by statistical technology]. *Gazovaya Promyshlennost'*. 2006. No. 6. Pp. 58–62. (rus)
18. Svintsov A.P., Mukarzel S.A., Mukarzel K.A. *Smennyy klapannyy uzel. Patent RF №2230963. Byul. No. 15. 20.06.2004 [Replaceable valve unit. Patent Rus. No. 2230963. Bul. No. 15. 20.06.2004].* (rus)
19. Svintsov A.P., Mukarzel S.A., Glebov Ye.A., Shubin A.M., Shchesnyak L.Y *Ventilnaya golovka. Patent RF №2434170. Byul. No. 32. 20.11.2011 [Headwork. Patent Rus. No. 2434170. Bul. No. 32. 20.11.2011].* (rus)
20. Svintsov A.P., Mukarzel S.A., Suchenko V.N., Glebov Ye.A. Metodika rascheta ploshchadi prokhodnogo otverstiya ploskogo klapana ventilnoy golovki [Headwork clearing hole of plate valve area calculation method]. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2010. No. 4. Pp. 40–42. (rus)
21. Svintsov A.P., Mukarzel S.A., Shchesnyak L.Ye. Metodika rascheta ventilnoy golovki dlya vodorazbornoy armatury [Headwork calculation method for hydrant valve]. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2013. No. 4. Pp. 44–46. (rus)

Александр Петрович Свинцов,
(905)5826910; эл. почта: svintsovap@rambler.ru

Махмуд Исхакович Харун,
(495)9550830; эл. почта: miharun@mail.ru

Сергей Асаадович Мукарзель,
(495)955-08-30; эл. почта: sergelb@inbox.ru.

Alexandr Svintsov,
(905)5826910; svintsovap@rambler.ru

Makhmud Kharun,
(495)9550830; miharun@mail.ru

Serge Mukarzel,
(495)955-08-30; sergelb@inbox.ru

© Свинцов А.П., Харун М.И., Мукарзель С.А., 2015

doi: 10.5862/MCE.58.3

Воздухоприемное отверстие приточной камеры и предотвращение поступления в вентиляционную систему вредных примесей

The air supply hole of the inlet chamber and preventing the inflow of harmful impurities into the ventilation system

Канд. техн. наук, доцент Н.А. Литвинова,
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, Тюмень, Россия

N.A. Litvinova,
Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Tyumen, Russia

Ключевые слова: место забора воздуха; воздухоприемное отверстие приточной камеры; приточная система вентиляции; качество наружного воздуха; концентрация оксид углерода (II); загрязнения от котельных; загрязнения от автотранспорта

Key words: place for air intake; air intake hole of the inlet chamber, inlet ventilation system, outdoor air quality, concentration of carbon oxide (II), boiler houses pollution, motor vehicles pollution.

Аннотация. При работе приточной системы вентиляции в помещения через воздухоприемное отверстие приточной камеры может поступать оксид углерода (II) от внешних источников выброса – автотранспорта и котельных малой и средней мощности в городской среде. В статье по результатам натурных исследований приводятся зависимости концентраций оксида углерода (II) от высоты фасада здания для предотвращения поступления в вентиляционную систему загрязнителя. Построены номограммы для выбора высоты расположения приемного отверстия для забора воздуха в зависимости от качества наружного воздуха. Предложены рекомендации, которые позволяют проектировать приточную вентиляцию с учетом качества наружного воздуха по всей высоте здания.

Abstract. The article discusses the dependences of carbon monoxide (II) concentrations on the height of the building façade based on the results of in situ tests with the goal of preventing the inflow of pollutants into the ventilation system. Carbon oxide (II) may enter the premises when the inlet ventilation system is working through the inlet chamber from external sources of emission. i.e. vehicles and low and medium-power boilers in the urban environment. We have constructed nomograms to adjust the height of the receiving hole for air intake by the ventilation system depending on the quality of the outdoor air on the height of buildings from external sources of different heights in relation to the building. We have suggested guidelines allowing to design ventilation systems depending on the quality of outdoor air over the entire height of the building, which cannot be done at the design stage.

Введение

При использовании механической приточной вентиляции в городских условиях низкое качество наружного воздуха может привести к значительному ухудшению воздушной среды помещений [1]. Данная система вентиляции применяется не только в административных и общественных, но и в жилых зданиях таких крупных городов, как Москва, Екатеринбург, Новосибирск, Омск, Тюмень и др.

В настоящее время вопрос о выборе места воздухоприемного отверстия для забора наружного воздуха в помещения зданий городских территорий остается нерешенным [2]. В действующих нормативных документах, определяющих требования к выбору места воздухозабора, в частности СНиП 41-01-2003, указано, что высота воздухоприемного отверстия должна быть не ниже 2 м. При этом воздухозаборные устройства рекомендуется размещать в местах наименьшего загрязнения наружного воздуха: вдали от улиц с интенсивным движением автотранспорта, котельных, внутри кварталов, в зоне зеленых насаждений. В случае, когда на уровне 2 м нельзя осуществлять воздухозабор, его, как правило, размещают над верхним покрытием здания. Однако следует учесть, что все концентрации вредных веществ измеряются на

высотах не выше 2 м от поверхности земли, соответственно, качество воздуха на большей высоте не контролируется.

На стадии проектирования невозможно определить качество воздуха по всей высоте здания, в том числе и на крыше. При этом фильтр приточной камеры не предназначен для очистки выбросов от газообразных примесей.

Таким образом, выбор места притока наружного воздуха принудительной вентиляцией в здания городской среды недостаточно обоснован, так как при выборе площадки для строительства невозможно предсказать уровень загрязнения по всей высоте здания, особенно от наружных источников выброса различной высоты. Исследования проводились только в приземном слое, что требует существенной корректировки при обосновании места забора воздуха для вентиляции помещений зданий городской среды.

1. Краткий обзор литературы

В последние годы общественное внимание к качеству воздуха и вентиляции значительно выросло. Если раньше отношение к микроклимату жилых зданий было безразличным, то теперь появилась потребность определить нормативы качества воздуха и воздухообмена [2].

Как отмечено в работах И.Ф. Ливчак, Н.Л. Джонсон [3–6], централизованная приточная вентиляция с механическим побуждением в городских условиях может привести к загрязнению воздушной среды газообразными примесями, так как в приточной камере осуществляется очистка только от механических примесей.

Указанный недостаток свидетельствует о целесообразности совершенствования вентиляционных устройств в многоэтажных зданиях за счет применения приточно-вытяжной вентиляции с тщательным выбором оптимальной высоты забора воздуха.

Внедрение механической приточно-вытяжной вентиляции в массовое строительство связано с улучшением условий эксплуатации, а также решением ряда конструктивных вопросов. Так, в жилищном строительстве за рубежом получили распространение механические системы приточной вентиляции, особенно для зданий повышенной этажности [2]. Эти системы отличает устойчивая работа во все периоды года. Современные вентиляционные установки имеют более высокий коэффициент полезного действия, создают меньший шум и обладают большей надежностью. [7].

В конце XX – начале XXI века в крупных городах России – Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске – началось активное строительство многоэтажных зданий высотой 17–26 этажей. Вентиляция в них выполнена с механическим побуждением [8].

С другой стороны, загрязнение атмосферного воздуха для России начала XXI века может оказаться не менее важной проблемой, чем его охлаждение в квартирах в летний период [9–10]. Для получения менее загрязненного наружного воздуха его забор может осуществляться над верхним покрытием зданий. Необходимо отметить, что официальные сведения о распространении вредных газов в наружном воздухе по мере удаления от поверхности земли от передвижных и точечных источников воздействия для юга Западной Сибири отсутствуют. Некоторые аналогичные сведения для других регионов в литературе присутствуют, но датируются серединой XX века и описывают только характер распределения по высоте механических примесей. Так, например, были проведены исследования, согласно которым содержание пыли у Исаакиевского собора (Санкт-Петербург) на высоте 1 м составляло 430 г/см^3, а на высоте 52 м – уже 250 г/см^3. В небольшом городе (R = 1 км) падение концентрации дыма составляет на высоте 15 м 30 %, а в большом – около 14 % [11–12].

В начале XXI века в России проводились исследования качества наружного воздуха по высоте перед фасадом жилых зданий, но только от неорганизованных источников выброса и только от диоксида азота [13]. Отбор концентраций диоксида азота NO_2 от автотранспорта по высоте здания в Волгоград показал, что на отметке 1,5 м концентрация максимальна (превышен ПДК), на высоте 7,5 м снижается в 2 раза, на отметке 15 м – незначительна [13].

Согласно СНиП 41–01–2003, низ отверстия для приемного устройства необходимо размещать на высоте не менее 2 м от уровня земли. Однако нормативный документ не учитывает закономерность изменения концентраций загрязняющих веществ в наружном воздухе выше 2 м от внешних источников [14–17].

Попадая в пространства между зданиями, в зону аэродинамической тени, где имеет место циркуляция потока, вредные вещества накапливаются до величин, нередко превышающих предельно допустимые значения, что особенно характерно для малых скоростей и при неблагоприятных направлениях ветра. С приточным воздухом вентиляции внутрь зданий поступает количество вредных веществ, превышающие расчетные величины, что снижает эффективность аэрации [18–20]. За рубежом проведены исследования качества воздуха в городской среде с учетом аэродинамических факторов [21–29]. В работах [30–32] сформулированы основные проблемы взаимодействия высотных зданий с ветровым потоком с точки зрения разнообразия режимов обтекания и проявлений дискомфорта населения.

Таким образом, при проектировании приточной системы вентиляции зданий необходим всесторонний анализ проектных решений для выбора варианта организации вентиляции, обеспечивающего стандарты качества воздуха в помещениях, в зависимости от степени загрязненности наружного воздуха по всей высоте здания.

2. Объект, цель и методика исследований

Цель исследований – определить оптимальное место размещения воздухоприемного отверстия приточной камеры механической вентиляции в зависимости от качества наружного воздуха. Для этого необходимо было оценить уровень загрязнения наружного воздуха по всей высоте здания.

Для решения поставленных задач в качестве загрязнителя был выбран оксид углерода (II) как наиболее устойчивая примесь в воздушной среде. Оксид углерода (II) CO всегда образуется при сжигании углеродсодержащих видов топлива в присутствии количеств воздуха, недостаточных для полного образования CO_2. Кроме того, оксид углерода (II) является консервативной примесью и может быть удален из помещения только с помощью вентиляции [3].

Объектом исследования являлись пяти-, девяти- и десятиэтажные здания. Наружные источники были выбраны передвижные и стационарные (точечные).

Во-первых, для натурных исследований выбраны здания, находящиеся в районе перекрестков с различной интенсивностью движения автотранспорта: свыше 2000 авт./ч; от 1000 до 2000 авт./ч; от 600 до 1000 авт./ч; от 500 до 600 авт./ч. Исследования загрязненности от передвижных источников проводились при наиболее неблагоприятной скорости ветра (1…2 м/с).

Во-вторых, выбраны здания, находящиеся в зоне действия котельных малой и средней мощности (точечные источники). Высота точечного источника была выбрана различная: выше здания в 2 раза, ниже в 0,5 раза и равной высоте здания. Объекты исследования находились в зоне действия данных котельных, на различных расстояниях от источника. Исследования загрязненности от котельных проводились при наиболее неблагоприятной скорости ветра (5…6 м/с).

Величина концентрации CO в наружном воздухе измерялась по всей высоте здания. Всего было выбрано 354 поста наблюдений на границе с городской застройкой на территории г. Тюмень. Исследования проводились в течение трех лет в осенне-зимний и весенне-летний периоды. При выезде на объекты в каждой точке было отобрано 20 проб.

Отбор проб от наружных источников проводился с 6 до 13 ч или с 14 до 21 ч с чередованием утренних и вечерних отборов. В ночное время – 1,2 раза в неделю. Одновременно замерялась скорость ветра (м/с) и отмечалось его направление.

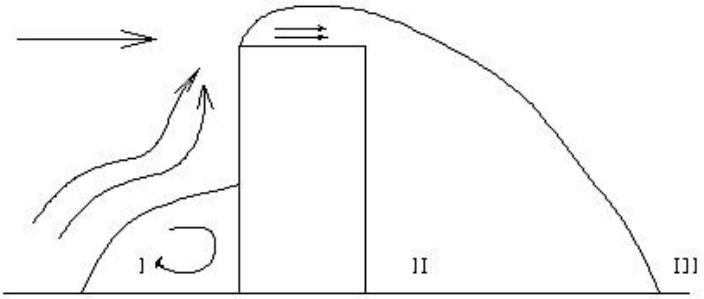


Рисунок 1. Границы аэродинамических теней здания:
I–наветренная тень; II–подветренная тень; III–за границами аэродинамической тени

При отборе проб вблизи здания замеры были проведены на расстоянии не менее 0,5 м от стены, с наветренной и подветренной стороны от источников. Отбор проб также проводился из внутриквартального пространства.

По методике ОНД-86 для исследуемых зданий были найдены границы аэродинамических теней: наветренной (I) и подветренной (II) (рис. 1).

В аэродинамической тени возникают вторичные рециркуляционные течения воздуха, с близкой к нулю скоростью ветра и интенсивным турбулентным перемешиванием. Этот фактор приводит к скоплению газов по фасаду здания.

3. Анализ результатов

Результат измерений концентраций СО по высоте зданий был представлен в виде функции от безразмерной длины ($\frac{h}{H}$, где h – высота от поверхности земли, м; H – высота здания, м). Величина концентрации по высоте представлена в безразмерном виде по отношению к максимальной ($\frac{c}{c_{\max}}$, где c – концентрация на высоте h, мг/м^3; $c_{\max}$ – максимальная концентрация по высоте здания, мг/м^3).

Обработка экспериментальных данных позволила получить расчетные зависимости безразмерной величины концентрации СО от высоты фасада зданий от источников различной высоты выброса: выше здания $H_и > H$ ($H_и$ = 2H); ниже здания $H_и < H$ ($H_и$= 0,5H); равной высоте здания $H_и = H$, где $H_и$ – высота источника, м; H – высота здания, м. В таблицах 1–2 представлены зависимости от источников $H_и$ = 0,5H и $H_и$ = H.

Таблица 1. Зависимости концентраций СО от высоты для трубы ниже здания в 0,5 раз

$\frac{R}{H_и}$	**Наветренная сторона (I)**	**Подветренная сторона (II)**
5	$\frac{c}{c_{\max}} = -2{,}375\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2{,}338\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}062$	$\frac{c}{c_{\max}} = -2{,}122\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2{,}014\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}046$
10	$\frac{c}{c_{\max}} = -1{,}703\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2{,}022\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}044$	$\frac{c}{c_{\max}} = -1{,}246\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2{,}001\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}021$
15	$\frac{c}{c_{\max}} = -0{,}296\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0{,}715\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}113$	$\frac{c}{c_{\max}} = -0{,}258\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0{,}519\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}099$
20	$\frac{c}{c_{\max}} = -0{,}949\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0{,}779\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}261$	$\frac{c}{c_{\max}} = -0{,}755\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0{,}558\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}121$

R – расстояние от устья источника до здания, м; $H_и$ – высота источника, м; H – высота здания, м; h – высота от поверхности земли, м.

Таблица 2. Зависимости концентраций СО от высоты для трубы одинаковой высоты со зданием

$\frac{R}{H_и}$	Наветренная сторона (I)	Подветренная сторона (II)
5	$\frac{c}{c_{max}} = -2{,}083\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1{,}780\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}361$	$\frac{c}{c_{max}} = -2{,}042\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1{,}489\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}124$
10	$\frac{c}{c_{max}} = -1{,}556\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2{,}198\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}253$	$\frac{c}{c_{max}} = -1{,}355\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2{,}011\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}156$
15	$\frac{c}{c_{max}} = -1{,}719\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1{,}951\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}288$	$\frac{c}{c_{max}} = -1{,}540\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1{,}745\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}099$
20	$\frac{c}{c_{max}} = -1{,}428\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1{,}380\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}386$	$\frac{c}{c_{max}} = -1{,}275\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1{,}148\left(\frac{h}{H}\right) + 0{,}123$

R – расстояние от устья источника до здания, м; $H_и$ – высота источника, м; H – высота здания, м; h – высота от поверхности земли, м.

Проведенные натурные исследования показали, что максимум концентраций оксида углерода (II) по высоте зданий, находящихся под воздействием точечных источников, может отмечаться на любой высоте здания. Концентрация СО зависит от высоты трубы по отношению к высоте самого здания (H), а также от расстояния от здания до трубы R.

Аналогичные зависимости получены от магистралей различной интенсивности движения (табл. 3).

Таблица 3. Расчет безразмерной концентрации СО по всей высоте здания от магистралей различной интенсивности движения автотранспорта

Интенсивность движения, авт./ч	Наветренная сторона (I)	Подветренная сторона (II)
до 500–600	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0012 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.054\left(\frac{h}{H}\right) + 0.135$	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0009 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.021\left(\frac{h}{H}\right) + 0.121$
от 600–1000	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0032 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.144\left(\frac{h}{H}\right) + 0.433$	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0012 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.111\left(\frac{h}{H}\right) + 0.324$
от 1000–2000	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0055 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.356\left(\frac{h}{H}\right) + 0.792$	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0034 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.176\left(\frac{h}{H}\right) + 0.583$
свыше 2000	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0065 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.513\left(\frac{h}{H}\right) + 0.991$	$\left(\frac{c}{c_{max}}\right) = 0.0035 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0.302\left(\frac{h}{H}\right) + 0.812$

Для выбора оптимальной высоты приемного отверстия для забора наружного воздуха для зданий различной этажности, расположенных на различной удаленности от источника (труб котельных различной высоты) при проектировании системы вентиляции удобно использовать построенные номограммы (рис. 2–4).

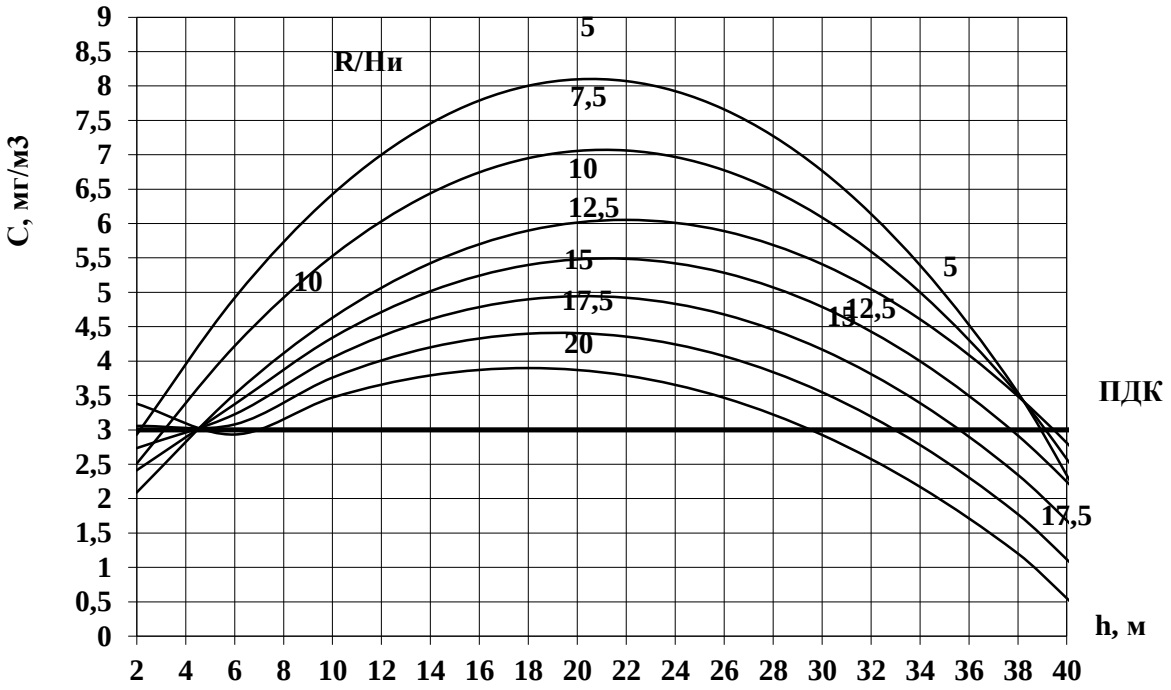


Рисунок 2. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора зданий от источника, высота которого равняется высоте здания:
$H_и$–высота источника, м; R – расстояние от устья источника до здания, м; h – высоты приемного отверстия от поверхности земли, м; C – концентрация оксида углерода (II), мг/м^3

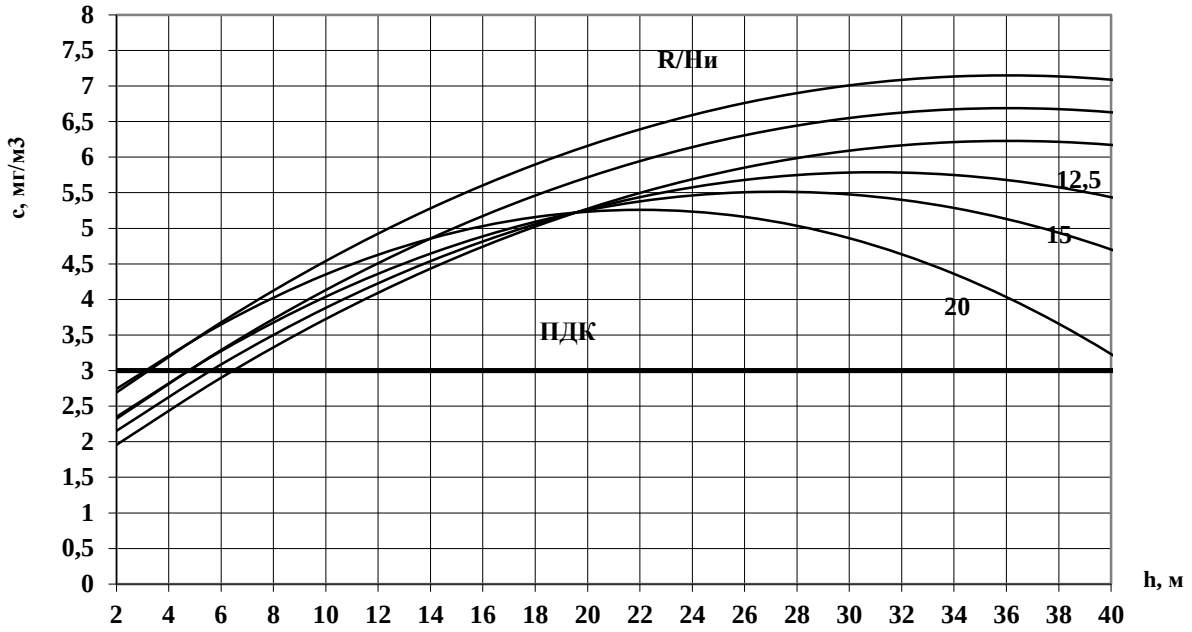


Рисунок 3. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора от источника, высота которого выше высоты здания в 2 раза:
$H_и$ – высота источника, м; R – расстояние от устья источника до здания, м; h – высоты приемного отверстия от поверхности земли, м; C – концентрация оксида углерода (II), мг/м^3

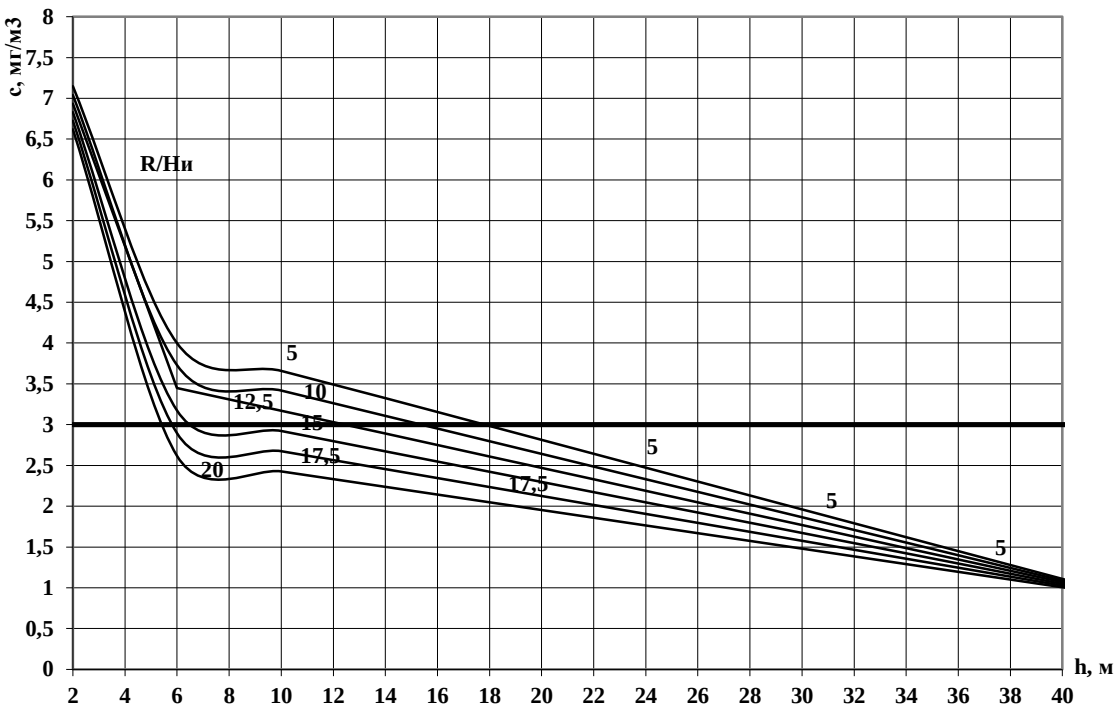


Рисунок 4. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора зданий от источника, высота которого ниже в 0,5 раз:
$H_и$ – высота источника, м; R – расстояние от устья источника до здания, м; h – высоты приемного отверстия от поверхности земли, м; C – концентрация оксида углерода (II), мг/м^3

При проектировании приточной системы вентиляции пользоваться номограммами на рисунках 2–4 рекомендуется следующим образом:

1) определяется высота источника по отношению к высоте здания: $H_и = 2H$; $H_и = H$; $H_и = 0,5H$;
2) по генеральному плану города определяется расстояние от устья источника до здания R, м;
3) находится отношение расстояния, на котором находится здание от источника, к высоте самого источника $R/H_и$;
4) по номограмме определяется концентрация CO по всей высоте здания на высоте h от поверхности земли на расстоянии $R/H_и$;
5) по номограмме выбирается оптимальная высота приемного отверстия для забора наружного воздуха с учетом предельно-допустимой концентрации (ПДК) в помещениях по CO.

Кроме того, при расположении здания в районе оживленных магистралей место воздухоприемного отверстия с учетом автотранспорта определяется по номограмме, представленной на рисунке 5.

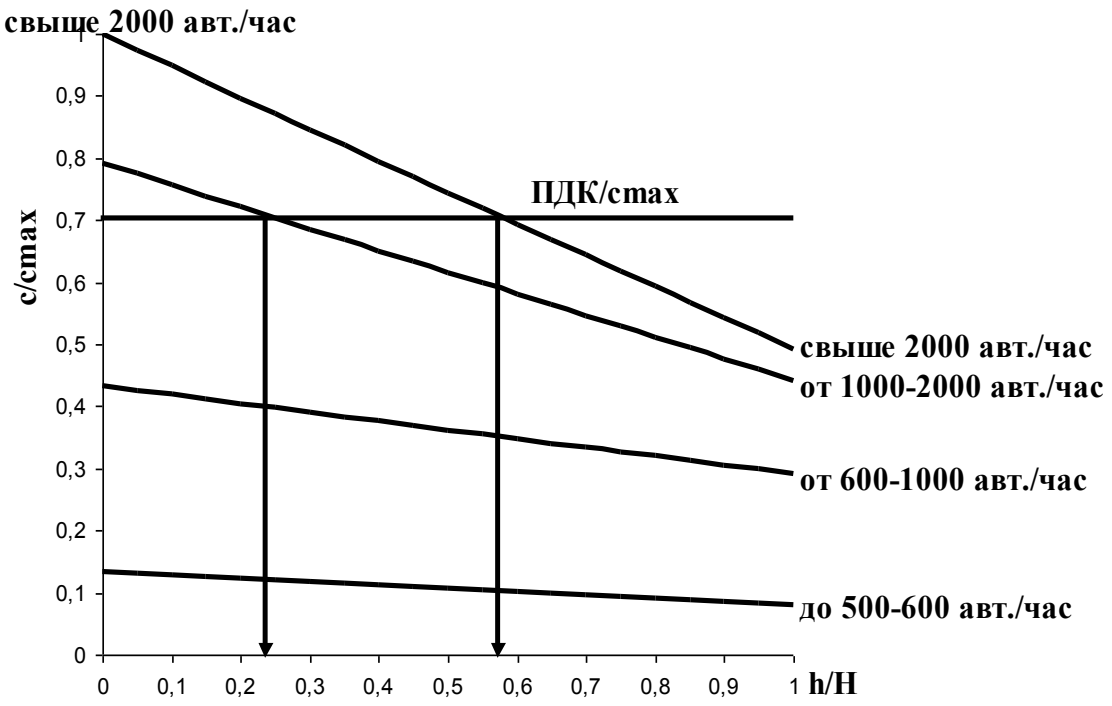


Рисунок 5. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора по концентрации оксида углерода (II) по высоте зданий в наружном воздухе от автотранспорта:
h – высота от поверхности земли, м; H – высота здания, м;
C_{max} – концентрация оксида углерода (II), максимальная по высоте здания, мг/м^3;
C – концентрация оксида углерода (II) на высоте h, мг/м^3

Пользуясь номограммой на .рисунке 5 при проектировании системы вентиляции здания, можно определить минимальную концентрацию СО в любой точке по высоте здания от перекрестков различной интенсивности движения. На рисунке 5 линией показана допустимая безразмерная концентрация и высоты, на уровне которых можно осуществлять забор наружного воздуха по высоте здания. При интенсивности 1000…2000 авт./ч это высота выше 0,24Н метров, где Н – высота здания, м; при интенсивности выше 2000 авт./ч – выше 0,56Н метров. Поскольку для интенсивности от 600 до 1000 авт./ч превышение не обнаружено, то забор воздуха, согласно номограмме, желательно осуществлять с высоты, равной высоте здания Н, так как на данной высоте наблюдается минимальная концентрация СО.

Приведем пример, как пользоваться номограммой на рисунке 5. Если высота здания 30 м, то при интенсивности движения выше 2000 авт./ч забор воздуха следует осуществлять выше 0,56Н = 16,8 м, а при тех же условиях интенсивности движения для здания 40 м – выше 0,56Н = 22,4 м. Это объясняется особенностями аэродинамики здания, то есть обтеканием здания воздушным потоком. Чем выше здание, тем больше размеры аэродинамической тени. Чем ближе точка к зданию, тем больше возникают вторичные рециркуляционные течения воздуха и застойные зоны, в которых скорость воздуха близка к нулю. Следовательно, концентрация оксида углерода (II) в наружном воздухе выше. В связи с этим, кроме интенсивности движения, при выборе оптимального места воздухозабора необходимо учитывать и высоту здания.

Предложенные номограммы (рис. 2–5) представлены с наветренной стороны здания, с подветренной стороны результат, согласно натурным исследованиям, следует уменьшить на 15 %.

Кроме натурных исследований, в выбранных точках проводился расчет концентраций СО по общепринятой методике прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха ОНД-86. Данную методику применяют в настоящее время при обосновании размеров санитарно-защитных зон от источников выброса в атмосферу.

Расчет приземных концентраций в слое 0…2 м и вертикального распределения концентраций в приземном слое воздуха, включая расчет концентраций у стен и крыш зданий, проводился с учетом влияния застройки. Подобный расчет производится в случаях, когда здание удалено от источника на расстояние менее x_m, или когда источник расположен на здании или в зонах возможного образования ветровых теней. При этом высота здания H должна быть не менее 0,4 высоты источника ($H \geq 0{,}4H_u$). Если здание удалено от источника на расстояние большее, чем 0,5 x_m, и основание источника не размещается в зоне возможного образования ветровой тени, то учет влияния застройки производится в случаях, когда высота здания превышает 0,7 высоты источника ($H > 0{,}7H_u$).

Величина концентрации оксида углерода (II) CO рассчитывалась в наружном воздухе по высоте жилых зданий, расположенных на расстояниях 0,1…1,2 x_m от источника, в точках на уровнях 1,5 м (первый этаж); 15 м (середина здания); 33,75 м от поверхности земли (уровень последнего этажа), где x_m – расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация.

Расчет вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) по высоте жилых зданий от точечных источников (котельных) показал, что изменение концентраций CO по высоте происходит различным образом: концентрация CO на расстояниях от 5$H_и$ до 10$H_и$ уменьшается от источников, находящихся ниже здания ($H_и$ = 0,5H), увеличивается от источников выше здания $H_и$ = 2H и на уровне $H_и$ = H. Концентрация CO по высоте здания не изменяется в точке приземления струи факела на расстоянии 20$H_и$ от источника.

Закономерность изменения концентраций оксида углерода (II) аналогична результатам натурных исследований в течение трех лет.

С целью сопоставления результатов экспериментальных исследований уровня загрязнения CO по высоте жилых зданий с расчетами по методике ОНД-86 от источников воздействия были построены сравнительные графики (рис. 6–8).

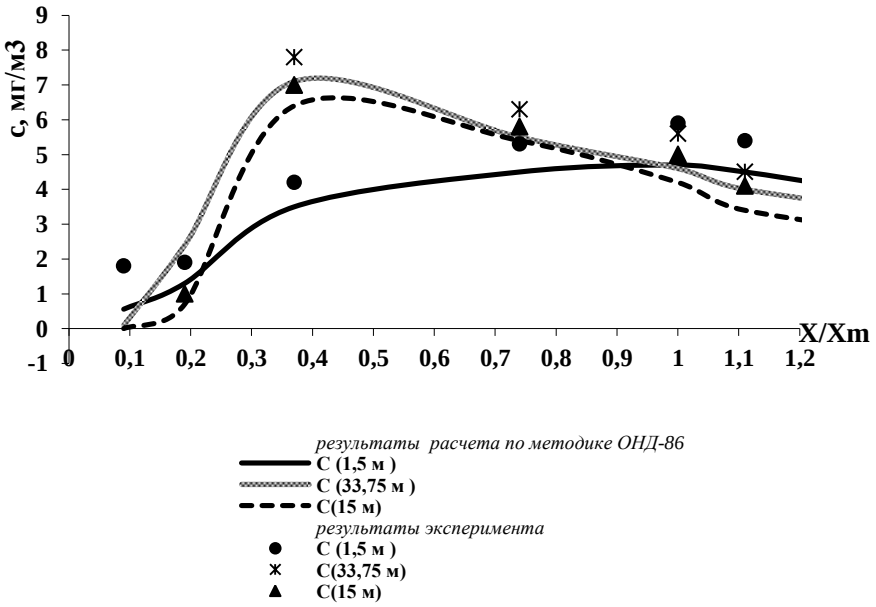


Рисунок 6. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте фасада жилых зданий на различных расстояниях от источника, находящегося выше здания ($H_и$ = 2H): x – расстояние от источника до здания; x_m – расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация

На концентрацию оксида углерода (II) по высоте фасада жилого здания непосредственно влияет высота и диаметр трубы, скорость выхода газовоздушной смеси, расход топлива, а также местоположение источника в плане города по отношению к зданию.

С удалением от источника до расстояния x_m кривая распределения концентрации подчиняется квадратичной, а после – линейной зависимости (рис. 6–8), полученной как в натурных условиях, так и при моделировании процесса.

Проводилось сравнение с расчетами по методике ОНД-86 не средних за период измерений концентраций, а разовых измерений по характерным моментам, так как по существующей методике концентрации рассчитываются по максимально-разовому выбросу.

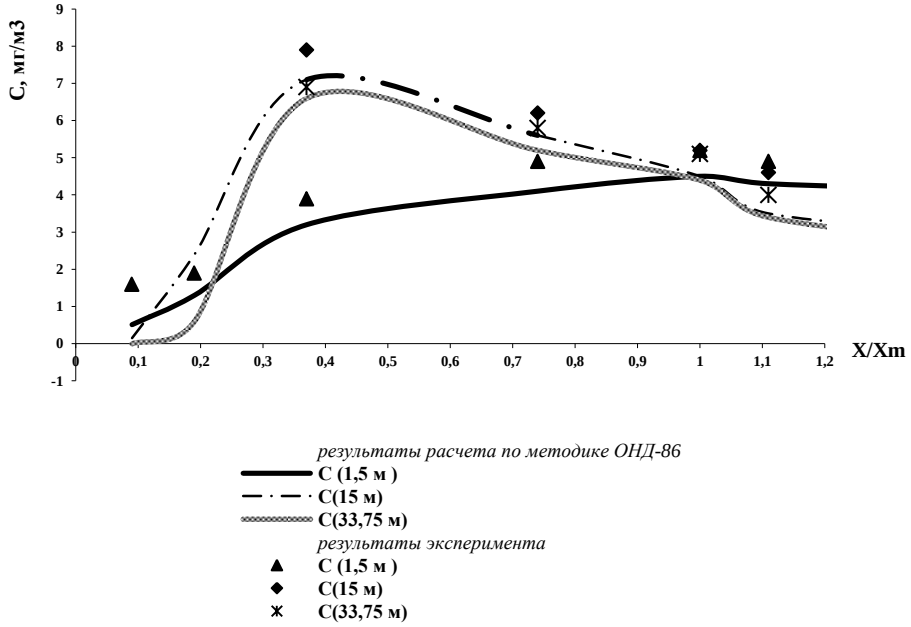


Рисунок 7. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте фасада жилых зданий на различных расстояниях от источника высотой, равной высоте здания $H_и = H$

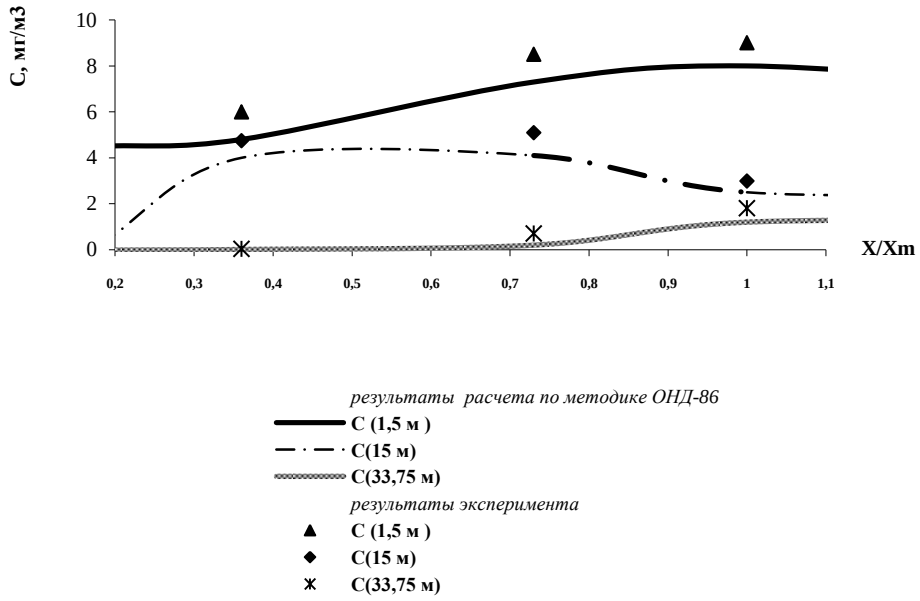


Рисунок 8. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте фасада жилых зданий на различных расстояниях от источника ниже здания ($H_и = 0,5H$)

Таким образом, полученные в ходе эксперимента значения величин концентраций CO сравнивались со значениями, рассчитанными по методике.

В результате выяснено, что в точках, близких к приземной части здания, на уровне 1,5 м концентрации CO, полученные экспериментально (рис. 6–8), отличаются от расчетных.

По графикам видно, что расхождение с существующей методикой тем больше, чем ближе расчетная точка к угловой зоне, где образуются вторичные рециркуляционные течения (застойные зоны с близкой к нулю скоростью ветра и интенсивным турбулентным перемешиванием). На уровне первого этажа 0,05$\left(\frac{h}{H}\right)$ (1,5 м от поверхности земли) методика ОНД-86 занижает величину концентрации загрязнителя до 32 %, на уровне середины здания 0,5$\left(\frac{h}{H}\right)$ (15 м) – до 24 %, на уровне последнего этажа 1$\left(\frac{h}{H}\right)$ (33,75 м) – до 14 %.

Расхождение велико, особенно на уровне 1,5–2 м, что очень важно для определения места воздухозабора приточной механической вентиляции зданий.

Результаты расчетов по общепринятой методике ОНД-86 по высоте здания (рис. 6–8) не учитывают точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения.

Таким образом, сравнительные графики результатов расчета и натурных исследований наружного воздуха по высоте жилых зданий подтвердили закономерности изменения концентрации CO по высоте при различных вариантах застройки и характеристиках источника выброса и показали границы достоверности методики ОНД-86 для условий юга Западной Сибири.

Выводы

1. Разработаны расчетные зависимости величины концентрации оксида углерода (II) от высоты от поверхности земли и от высоты самого здания для наружных источников выброса различной высоты.

2. Предложены номограммы для выбора оптимального места воздухоприемного отверстия приточной механической вентиляции здания с учетом качества наружного воздуха по всей высоте здания.

3. Результаты эксперимента сопоставлены с расчетами по общепринятой методике ОНД-86. Расхождение велико, особенно на уровне 1,5–2 м – до 32 %, что очень важно для определения места воздухозабора приточной механической вентиляции зданий.

4. Номограммы и расчетные зависимости внедрены в ЗАО «Тюменский институт по проектированию объектов агропромышленного комплекса» при строительстве административного высотного здания с учетом оживленной транспортной магистрали (улица Мельникайте, г. Тюмень) с интенсивностью свыше 2000 авт./ч. Данные рекомендации по оценке прогнозируемого уровня концентраций оксида углерода (II) в наружном воздухе позволили при проектировании принудительной вентиляции зданий выбрать оптимальную высоту забора наружного воздуха.

Литература

1. Малявина Е.Г. Воздушный режим высотного здания в течение года // АВОК. 2003. №6. С. 14.
2. Grimsrud D.T., Hadlich D.E. Residential pollutants and ventilation strategies: moisture and combustion products // ASHRAE. №145. 1999. Pp. 147.
3. Ливчак В.И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий // АВОК. 1999. №6. С. 21–25.
4. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых домов. М.: Гос. изд-во архитектуры и градостроительства. 1951. 140 с.
5. Ливчак И.Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации в России за 100 последних лет. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 149 с.

References

1. Malyavina Y.G. Vozdushnyy rezhim vysotnogo zdaniya v techeniye goda [Air regime of high-rise building in the course of a year]. *ABOK.* 2003. No. 6. Pp. 14. (rus)
2. Grimsrud D.T., Hadlich D.E. Residential pollutants and ventilation strategies: moisture and combustion products. *ASHRAE.* No.145. 1999. Pp. 147.
3. Livchak V.I. Resheniya po ventilyatsii mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [Solution for ventilation of high-rise dwelling buildings]. *ABOK.* 1999. No. 6. Pp. 21–25. (rus)
4. Livchak I.F. *Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh domov* [Ventilation of high-rise dwelling buildings]. Moscow: Gos. iz-vo arkhitektury i gradostroitelstva. 1951. 140 p.(rus)
5. Livchak I.F. *Razvitiye teplosnabzheniya, klimatizatsii v Rossii za 100 poslednikh let* [Development of heating and

6. Jones N.L. Body carbon monoxide storage capacity exercise // Environ. Exercise Physiol. 2000. №4(46). Pp. 811–815.
7. Табунщиков Ю. А. Проблемы высотных зданий // АВОК. 2002. №1. С. 5–8.
8. Наумов А.Л. Оценка расхода теплоты на отопление и вентиляцию в жилых зданиях // АВОК. 2007. №8. С. 8–12.
9. Сидоренко В.Ф. О расчете концентраций окиси углерода в воздухе автомагистралей и прилегающей жилой застройки // Гигиена и санитария. 1974. №1. С. 7.
10. Сидоренко В.Ф., Михеев В.Ф. Методика расчета концентраций выхлопных газов автотранспорта в жилой застройке. Киев: Инженерно-строительный институт. 1986. 20 с.
11. Шелейховский Г.В. Задымление городов. М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР. 1959. 120 с.
12. Шелейховский Г. В. Микроклимат южных городов. М.: Изд. АМН СССР. 1960. 168 с.
13. Рябов С.Н. Разработка характеристик комплексной оценки экологической оценки безопасности воздушной среды жилых помещений и мероприятия по ее обеспечению: дисс…канд. техн. наук: 03.00.16, 05.23.03. Волгоград. 2005. 135 с.
14. Скипин Л.Н. Природоохранные мероприятия снижения эмиссии углекислого газа // Аграрный вестник Урала. 2013. №9(115). С. 77–79.
15. Сапега В.А. Изменение основных параметров выбросов загрязняющих веществ и охрана атмосферного воздуха в Тюменской области // Труды материалов международной научно-практической конференции: актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири. Тюмень: ТюмГАСУ. 2014. С. 185–191.
16. Жиляков Е.В. Здоровье населения как интегральный показатель качества окружающей среды // Санитарный врач. 2009. №4. С. 44–47.
17. Литвинова Н.А. Автотранспорт и чистота воздуха в жилых помещениях // Труды материалов III международной научно-практической конференции: актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири. Тюмень: ТюмГАСУ. 2010. С. 113–116.
18. Дацюк Т.А. Моделирование рассеивания вентиляционных выбросов // Труды СПбГАСУ. СПб.: Изд-во СПбГАСУ. 2000. №1. С. 12–14.
19. Atmospheric measurements of trace pollutants; Long path fourier transform infrared spectroscopy // Advances in Environmental Science and Technology. 1980. №4(10). Pp. 259–300.
20. Indoor Pollutants // The National Academies Press. 1981. №14(12). Pp. 145–156.
21. Woodruff N. P., Zingg A. W. Wind tunnel studies of shelterbelt models // Journal of Forestry. 1953. №3(51). Pp. 34–35.
22. Yocom, J.E. Indoor-outdoor air quality relationships. A critical review // Journal of the Air Pollution Control Association. 1982. №10(32). Pp. 500–520.
23. Sarkar S. Survey of Indoor Air Pollution and Health Symptoms at Residential Buildings // International Letters of Natural Sciences. University of Calcutta. 2014. Pp. 17–30.
24. Challoner G. Indoor / outdoor air quality relationship in urban commercial buildings // ITRN2011 University College Cork. 2011. Pp. 1–5.
25. Artíñano B. Influence of traffic on the PM10 and PM2.5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain) // Science of The Total Environment. 2004. №. 5. Pp. 111–123.

climatisation in Russia for the last 100 years]. Moscow: Izd-vo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov. 2004. 149 p.(rus)
6. Jones N.L. Body carbon monoxide storage capacity exercise. *Environ. Exercise Physiol*. 2000. No. 4(46). Pp. 811–815.
7. Tabunshchikov Yu. A. Problemy vysotnykh zdaniy [Problems of high-rise buildings]. *ABOK.* 2002. No. 1. Pp. 5–8. (rus)
8. Naumov A.L. Otsenka raskhoda teploty na otopleniye i ventilyatsiyu v zhilykh zdaniyakh [Estimate of heat consumption for heating and ventilation in dwelling buildings]. *ABOK.* 2007. No. 8. Pp. 8–12. (rus)
9. Sidorenko V.F. O raschete kontsentratsiy okisi ugleroda v vozdukhe avtomagistraley i prilegayushchey zhiloy zastroyki [About calculation of carbon monoxide concentration in air of highways and neighboring apartment block]. *Gigiena i Sanitariia.*1974. No. 1. Pp. 7. (rus)
10. Sidorenko V.F., Mikheyev V.F. *Metodika rascheta kontsentratsiy vykhlopnykh gazov avtotransporta v zhiloy zastroyke* [Calculation procedure of transport exhaust concentration in apartment block]. Kiyev: Inzhenerno-stroitelnyy institut. 1986. 20 p.(rus)
11. Sheleykhovskiy G.V. *Zadymleniye gorodov* [Smoke pollution in cities]. Moscow: Ministerstvo kommunalnogo khozyaystva RSFSR. 1959. 120 p.(rus)
12. Sheleykhovskiy G. V. *Mikroklimat yuzhnykh gorodov* [Microclimate of south towns]. Moscow: Izd. AMN SSSR, 1960. 168 p.(rus)
13. Ryabov S.N. *Razrabotka kharakteristik kompleksnoy otsenki ekologicheskoy otsenki bezopasnosti vozdushnoy sredy zhilykh pomeshcheniy i meropriyatiya po yeye obespecheniyu: dis…kand. tekhn. nauk: 03.00.16, 05.23.03* [Complex evaluation characteristics designing of air safety estimation of living spaces and its assurance: candidate theses]. Volgograd. 2005. 135 p. (rus)
14. Skipin L.N. Prirodookhrannyye meropriyatiya snizheniya emissii uglekislogo gaza [Nature-conservative measures for CO2 degradation emission]. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2013. No. 9(115). Pp. 77–79. (rus)
15. Sapega V.A. Izmeneniye osnovnykh parametrov vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv i okhrana atmosfernogo vozdukha v Tyumenskoy oblasti [measuring of pollutant emission critical parameters and atmosphere protection in Tyumen Oblast]. *Trudy materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: aktualnyye problemy stroitelstva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri Sbornik.* Tyumen: TyumGASU. 2014. Pp. 185–191. (rus)
16. Zhilyakov Ye.V. Zdorovye naseleniya kak integralnyy pokazatel kachestva okruzhayushchey sredy [Health of communities like integral performance index of environment]. *Sanitarnyy vrach*. 2009. No. 4. Pp. 44–47. (rus)
17. Litvinova N.A. Avtotransport i chistota vozdukha v zhilykh pomeshcheniyakh [Motor transport and air cleanness in living space]. *Trudy materialov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: aktualnyye problemy stroitelstva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri Sbornik*. Tyumen: TyumGASU. 2010. Pp. 113–116.
18. Datsyuk T.A. Modelirovaniye rasseivaniya ventilyatsionnykh vybrosov [Simulation of emission dispersion]. *Trudy SPbGASU.* 2000. No. 1. Pp. 12–14. (rus)
19. Atmospheric measurements of trace pollutants; Long path fourier transform infrared spectroscopy. *Advances in Environmental Science and Technology.* 1980. No. 4(10). Pp. 259–300.
20. Indoor Pollutants. The National Academies Press. 1981. No. 14(12). Pp. 145–156.
21. Woodruff N.P., Zingg A.W. Wind tunnel studies of

26. Dimitroulopoulou S. Modelling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK. // Atmospheric Environment. 2001. №35. Pp. 269–279.
27. Ye Wu. Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China // Atmospheric Environment. 2001. №36. Pp. 4907–4918.
28. Ozturk A. The building as an effective factor to indoor air quality defining the building as a source of indoor air pollution // Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales & 14th IUAPPA Regional Conference, İstanbul, Turkey, September 26-30. 200. Pp. 26–28.
29. Lawrence A. Indoor air quality and indoor/outdoor relationship in domestic homes of central part of India. // third International Symposium on AIR QUALITY MANAGEMENT at Urban, Regional and Global Scales. Turkey: AIR QUALITY MANAGEMENT. 2005. Pp. 24–26.
30. Казакевич М.И. Актуальные проблемы здания и аэродинамика // Труды молодых ученых: тезисы докладов. Киев: Национальный университет железнодорожного транспорта Днепропетровский Вольт, 2007. С. 152–161.
31. Aldeberky A.A. The influence of high-rise buildings on the environment // Atmospheric Environment. 2007. Pp. 180–191.
32. Aldeberky A.A. Environmental adaptation of urban design for desert settlements in Upper Egypt. dis…kand. science. 2005. 150 p.

shelterbelt models. *Journal of Forestry*. 1953. No. 3(51). Pp. 34–35.
22. Yocom J.E. Indoor-outdoor air quality relationships. A critical review. *Journal of the Air Pollution Control Association.* 1982. No. 10(32). Pp. 500–520.
23. Sarkar S. Survey of Indoor Air Pollution and Health Symptoms at Residential Buildings. *International Letters of Natural Sciences. University of Calcutta.* 2014. Pp. 17–30.
24. Challoner G. Indoor / outdoor air quality relationship in urban commercial buildings. *ITRN2011 University College Cork.* 2011. Pp. 1–5.
25. Artíñano B. Influence of traffic on the PM10 and PM2.5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*. 2004. No. 5. Pp. 111–123.
26. Dimitroulopoulou S. Modelling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK. *Atmospheric Environment.* 2001. No. 35. Pp. 269–279.
27. Ye Wu. Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China. *Atmospheric Environment.* 2001. No. 36. Pp. 4907–4918.
28. Ozturk A. The building as an effective factor to indoor air quality defining the building as a source of indoor air pollution. *Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales & 14th IUAPPA Regional Conference, İstanbul, Turkey, September 26-30. 200.* Pp. 26–28.
29. Lawrence A.Yu. Indoor air quality and indoor/outdoor relationship in domestic homes of central part of India. *Third International Symposium on AIR QUALITY MANAGEMENT at Urban, Regional and Global Scales.* Turkey. 2005. Pp. 24–26.
30. Kazakevich M.I. Aktualnyye problemy zdaniya i aerodinamika [Urgent problems of high-rise building aerodynamics]. *Trudy molodykh uchenykh: tezisy dokladov* [Transactions of young scientists]. Kiev: National University of Railway Transport. 2007. Pp. 152–161. (rus)
31. Aldeberky A.A. The influence of high-rise buildings on the environment. *Atmospheric Environment*. 2007. Pp. 180–191.
32. Aldeberky A.A. *Environmental adaptation of urban design for desert settlements in Upper Egypt.theses.* 2005. 150 p.

Наталья Анатольевна Литвинова,

+7(952)3471233; эл. почта: litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru

Natalya Litvinova,

+7(952)3471233; litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru

© Литвинова Н.А., 2015

doi: 10.5862/MCE.58.4

Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources

Д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе Б.И. Басок,
младший научный сотрудник И.К. Божко,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник А.Н. Недбайло,
младший научный сотрудник О.Н. Лысенко,
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина

B.I. Basok,
I.K. Bozhko,
A.N. Nedbaylo,
O.N. Lysenko,
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Ключевые слова: поливалентная система теплообеспечения; тепловые насосы; теплый пол; капиллярный теплый пол; грунтовой теплообменник; пассивный дом; возобновляемые источники энергии.

Key words: polyvalent system heating; heat pumps; floor heating; capillary heated floor; ground heat exchangers; passive house; renewable energy.

Аннотация. В статье рассмотрена концепция создания поливалентной системы теплообеспечения дома пассивного типа, построенного на территории Института технической теплофизики Национальной академии наук Украины. Приводится краткий анализ распространенных систем отопления, которые применяются в жилищно-коммунальном секторе, в общественных и промышленных зданиях. Авторами описываются основные этапы развития принципиальной гидравлической схемы поливалентной системы теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии. Приводятся основные режимы работы в зависимости от периода года, температуры окружающей среды и технологических особенностей работы системы. Показана целесообразность применения теплонасосных технологий при теплообеспечении энергоэффективных и пассивных домов.

Abstract. The article describes the concept of creating a polyvalent heating system for a passive house situated on the premises of the Institute of Technical Thermal Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine. A brief analysis of common heating systems used in the residential sector, and public and industrial buildings is conducted. The authors describe the main stages of developing the principal hydraulic circuit of a polyvalent heating system for a passive house from renewable energy sources. The basic modes of operation depending on the period of year, the ambient temperature and technological features are listed. The advisability of using the heat pump technology in supplying heat to energy-efficient and passive houses is demonstrated.

Сочетание архитектурных приемов с технологическими особенностями поддержания комфортных санитарно-гигиенических условий в помещениях различного назначения является неотъемлемой составляющей современного энергоэффективного строительства. Мировые тенденции в повышении энергетической эффективности систем теплоснабжения в целом направлены на использование природных возобновляемых источников энергии, сбросных вторичных энергоресурсов, децентрализацию поставки теплоты, а также переход на низкотемпературные отопительные системы. Новейшие системы теплообеспечения энергоэффективных зданий во многих случаях являются комбинированными, с высокой степенью автоматизации управления процессами поддержания параметров температурно-влажностного режима.

Низкотемпературные системы отопления имеют температуру поверхности теплообмена, не превышающую 30...40 °С. Основным механизмом передачи теплоты (70 %) в таких системах является свободная конвекция воздуха вдоль нагретой поверхности с постепенным перемешиванием его в объеме помещения. Радиационная составляющая теплообмена здесь

невысокая – до 30 %. В качестве примера можно привести такие системы отопления, как водяные (в том числе капиллярные) и электрические (кабельные системы) теплые полы, стены или потолки; воздушная система отопления и кондиционирования с помощью фэнкойлов (воздушных теплообменников); пленочные системы отопления; бытовые и промышленные сплит-системы, чиллеры и т. д. Низкотемпературные системы отопления с использованием теплонасосных технологий крайне энергоэффективны в жилых и административных зданиях.

Среднетемпературные системы отопления имеют температуру в диапазоне 40...65 °С. При этом имеет место совокупность конвективного (60 %) и радиационного (40 %) теплообмена отопительных приборов, соответственно, с воздухом и с предметами в помещении. Классические примеры таких систем – радиаторно-конвекторная система, твердотельный электрический аккумулятор теплоты, использующий льготный тариф «ночного провала» потребления, и т. д. Среднетемпературные системы отопления распространены в жилых, административных и промышленных зданиях различного назначения. Источником теплоты для них обычно выступает теплоноситель от централизованного снабжения: ТЭЦ, котельные, когенерационные установки. Также целесообразно использование таких систем с тепловыми насосами различных типов.

Высокотемпературные системы отопления имеют температуру нагревателя, превышающую 80 °С. Основной механизм теплообмена – концентрированное излучение в инфракрасном спектре волн, от 60 % и более с ростом температуры, а также повышением излучательной способности поверхности прибора. Как пример можно привести излучатели с керамическими, металлическими или полупроводниковыми электронагревательными элементами, которые снабжены рефлекторами. Такие системы целесообразно использовать в помещениях, где требуется зональный подогрев, с большой высотой потолка или на открытой территории. В основном широкое распространение они получили в производственных помещениях, сельском хозяйстве, а также при использовании в промышленных технологических целях.

В Институте технической теплофизики НАН Украины (ИТТФ НАН Украины) накоплен значительный опыт выполнения научных и технологических исследований по модернизации коммунальной теплоэнергетики, проведения научно-исследовательских и инженерных работ по разработке и созданию современных систем теплоснабжения. Создание и апробация таких энергосберегающих технологий низко- и среднетемпературных систем теплоснабжения с использованием возобновляемых альтернативных источников энергии (низкопотенциальной теплоты грунта, атмосферного воздуха, водоемов, сбросной теплоты промышленных предприятий) на основе тепловых насосов различных типов предоставляют возможность комплексного решения проблемы теплообеспечения зданий. Такие технические решения обеспечивают значительное снижение затрат на эксплуатацию, являются экологически чистыми, приводят к существенной экономии природного газа, а в отдельных случаях – к его замещению. Кроме того, это позволяет частично использовать энергию «ночного провала» в электропотреблении.

Использование теплонасосных систем с возобновляемыми источниками энергии – это реальная альтернатива органическим топливам как источникам энергии. На трансформацию одной единицы теплоты теплонасосная установка тратит в три и менее раз электрической энергии. Объемный сезонный аккумулятор является одним из дополнительных источников теплоты в холодный период года и может обеспечить эффективную работу теплонасосной установки.

В литературе все большее внимание уделяется оценке эффективности и внедрению теплонасосных технологий в системы теплообеспечения потребителей. Так, в работах [1–3] рассмотрены принципиальные схемы таких систем, описаны основные преимущества применения теплонасосных технологий в сравнении с централизованным теплоснабжением. В работах [4–8] описаны концепции, а также на примерах показана эффективность применения тепловых насосов. В работах [9–11] отмечено, что чем выше коэффициент термического сопротивления ограждающих конструкций, тем выгоднее применение теплонасосных технологий для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий. Это связано с невысокими температурами теплоносителя на выходе из теплового насоса, переходом от радиаторного отопления к напольному (теплый пол) и применением баков-аккумуляторов в системах горячего водоснабжения.

В работе [12] описано применение тепловых насосов и их интеграция в систему вентиляции здания. При этом отмечено, что эффективность такой системы повышается при предварительном подогреве атмосферного воздуха, поступающего на нужды вентиляции.

Также авторы рассматривают технические и технологические аспекты внедрения теплонасосных технологий и обозначают актуальность возникающих при этом вопросов и проблем. Так, в работах [13, 14] рассмотрено внедрение теплонасосных технологий, описано влияние различных факторов на выбор типа теплового насоса и области его применения, показаны целесообразность и возможный экономический эффект от таких мероприятий. Также приведены возможные решения тех или иных проблем при реализации проектов. Работа [15] показывает пути оптимизации и технической поддержки работы тепловых насосов при их интеграции в системы теплоснабжения.

Ряд работ [16–20] посвящен энергетическому и эксергетическому анализу применения теплонасосных технологий при теплообеспечении потребителей. Отмечено, что максимальная эффективность достигается при создании комбинированных систем теплоснабжения, которые включают в себя тепловой насос и солнечные коллекторы.

Однако в литературе недостаточно освещены вопросы создания комбинированных систем. При этом если системы с несколькими источниками теплоты для отопления и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов и солнечных коллекторов рассматриваются часто [21–23], то системы с комбинацией различных отопительных приборов – крайне редко.

Учитывая вышесказанное, коллектив авторов задался целью разработать научные основы создания и функционирования комбинированной (как по источникам тепловой энергии, так и по отопительным приборам) системы теплообеспечения пассивного дома на примере полномасштабного натурного стенда, созданного на территории Института технической теплофизики НАН Украины в Киеве (рис. 1.). Задача исследования – показать идеологию и основные этапы создания, а также определить возможности последующего широкого внедрения вышеупомянутой системы на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

Коллективом исполнителей разработаны схемные технические решения системы отопления лабораторного помещения ИТТФ НАН Украины площадью 18 м^2 [24], а также определены предварительные технико-экономические обоснования целесообразности эксплуатации таких систем с использованием солнечных коллекторов в частном секторе [25]. Оригинальные подходы предыдущих проектов [26, 27] были использованы при разработке комплексных решений по теплообеспечению пассивного дома общей площадью 300 м^2 как будущего прототипа «дома нулевой энергии» (энергоавтономный).

При проектировании и строительстве пассивного дома ориентация стен была проработана в строгом соответствии со сторонами света, использовались соответствующие архитектурные приемы для минимизации тепловых потерь через ограждающие конструкции [28–31]. Наружные стены выполнены из комбинаций различных строительных материалов, то есть представляют собой многослойную панель с утеплителем из пенополистирола. Для повышения термического сопротивления светопрозрачных конструкций было принято решение расположить по две оконные конструкции в каждом из проемов одна за другой, то есть сделать «двойные окна».

а б

Рисунок 1: а) общий вид пассивного дома; б) пассивный дом с утеплением ограждающих конструкций

Наружные ограждающие конструкции рассматриваемого пассивного дома имеют следующие коэффициенты теплопередачи:

- наружные стены – от 0,09 до 0,13 Вт/(м^2·°С);
- окна – 0,26 Вт/(м^2·°С);
- крыша – 0,21 Вт/(м^2·°С);
- пол цокольного этажа – 0,35 Вт/(м^2·°С).

В экспериментальном доме реализованы: автономная комбинированная система теплообеспечения на основе возобновляемых источников энергии с использованием восстанавливаемой теплоты грунта, система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты, а также используется солнечная энергия.

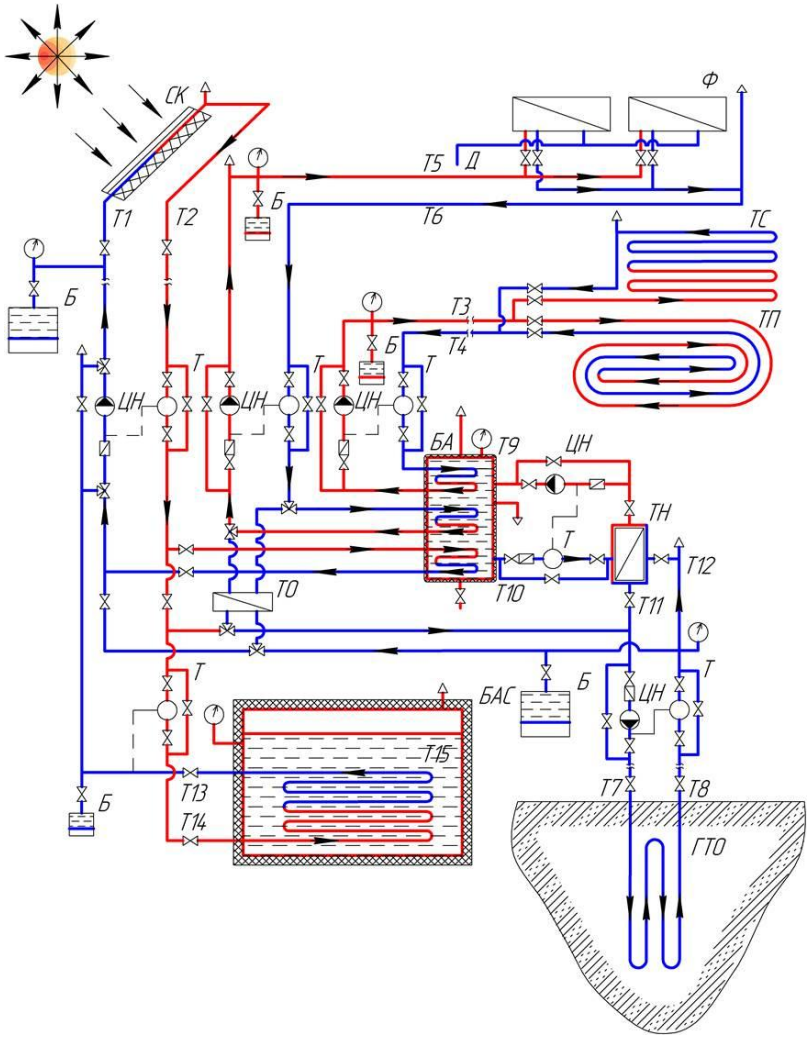


Рисунок 2. Принципиальная гидравлическая схема системы теплоснабжения энергоэффективного дома, где Б – баки-экспанзоматы, БА – бак-аккумулятор, БАС – бак-аккумулятор сезонный, ГТО – грунтовый теплообменник, Д – дренаж, СК – солнечные коллекторы, ТН – тепловой насос, ТО – теплообменник пластинчатый, ТП – теплый водяной пол, ТС – тепла водяная стена, ЦН – циркуляционные насосы, Т – теплосчетчики, Ф – фэнкойлы, Т1...Т15– датчики температуры, Т1 ≥ Т2 – циркуляционный насос выключен

Схема предусматривает:

- размещение солнечных тепловых коллекторов на односкатной крыше дома под оптимальным для данной местности углом 33° с южной стороны дома;
- расположение теплового насоса и сезонных объемных баков-аккумуляторов теплоты (водяной и парафиносодержащий) в цокольном этаже дома;
- водозабор технической воды из скважины рядом;

- использование систем водяного отопления типа теплый водяной пол и стена, теплая капиллярная стена;
- электрический теплый пол (электрокабельная система в отдельных помещениях);
- воздушная система отопления и кондиционирования на основе фэнкойлов;
- рекуперативная система принудительной вентиляции дома с грунтовыми воздушными теплообменниками.

Гидравлическая схема системы теплоснабжения приведена на рисунке 2. Основными принципами ее разработки являются минимизация длины трубопроводов с возможностью реверсного движения теплоносителя по некоторым участкам, уменьшение количества контрольно-измерительных приборов благодаря использованию одной и той же единицы последних в различных технологических режимах (при соответствующей коммутации движения теплоносителя). Также предполагается многовариантность эксплуатации системы с выбором источника теплоснабжения и отделения отопительных приборов и систем для сравнения их энергоэффективности.

Измерение количества теплоты обеспечивается установкой во всех контурах теплосчетчиков, реализующих автоматическую регистрацию показаний на компьютере с разной периодичностью. Все датчики температуры используются с цифровыми вторичными приборами, позволяющими в режиме реального времени вести записи, их последующую обработку и анализ с помощью специального программного обеспечения.

Доработав конструкцию отдельных контуров и расширив перечень теплообменников – источников низкопотенциальной теплоты для теплового насоса, а также увеличив количество отопительных приборов, авторы разработали принципиальную гидравлическую схему комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома, которая приведена на рисунке 3.

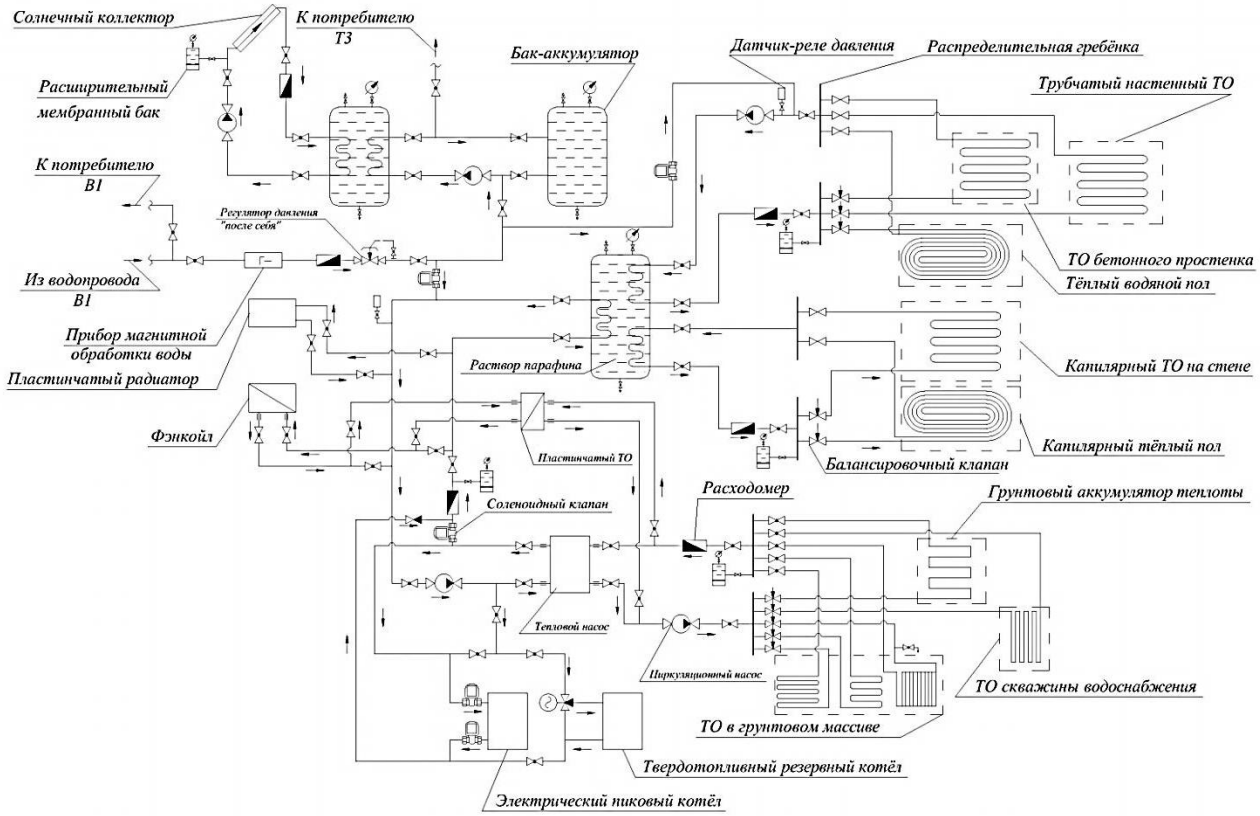


Рисунок 3. Принципиальная гидравлическая схема комбинированной системы теплоснабжения пассивного дома

Дальнейшее развитие принципиальной гидравлической схемы (рис. 3) основано на реализации 8 режимов работы в различные периоды года. Астрономический год согласно ДБН В.2.5.67-2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [32] разбит на три периода: летний, переходный и зимний. Рассмотрим каждый режим работы комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома детально.

Летний период. В летний период принято, что среднесуточная температура наружного воздуха не опускается ниже +21 °С. Основной задачей в это время является кондиционирование воздуха в помещениях. Системой теплообеспечения предусмотрено два независимых варианта кондиционирования, которые схематично представлены на рисунках 4а и 4б.

Первая схема кондиционирования основана на применении теплообменных аппаратов типа «грунт – воздух» (рис. 4а), которые расположены в грунтовом массиве на территории ИТТФ НАН Украины в Киеве. Теплообменники выполнены из труб наружным диаметром 110 мм, материал – НПВХ. Прокачиваемый с помощью осевого вентилятора по трубам наружный воздух охлаждается в грунтовом массиве до температуры, близкой к +8 °С и направляется на рекуператор системы вентиляции. Таким образом, осуществляется централизованное кондиционирование всего дома.

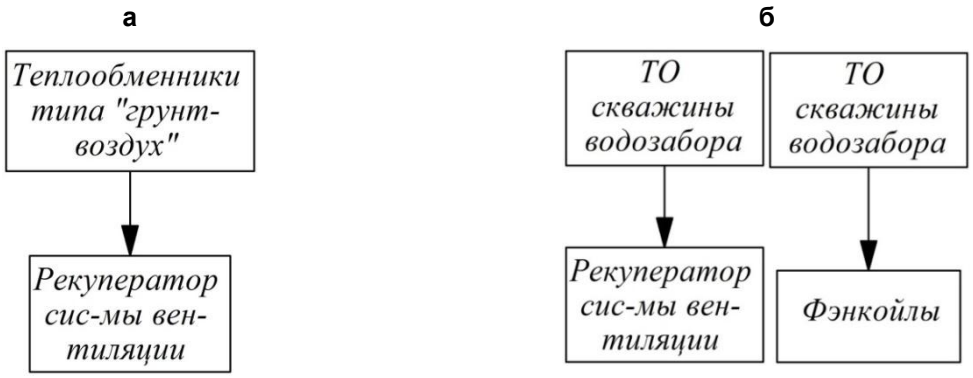


Рисунок 4: а) кондиционирование с использованием теплообменников «грунт–воздух»; б) кондиционирование с использованием теплообменника скважины водозабора

При необходимости может быть задействована вторая схема, предполагающая более интенсивное кондиционирование (рис. 4б), с использованием теплообменника скважины водозабора (теплоноситель – вода). Внутренний воздух, проходя через рекуператор системы вентиляции, нагревает охлаждающую его воду. Далее вода контура рекуператора охлаждается в теплообменном аппарате скважины водозабора за счет проточной воды из скважины с температурой около +12 °С, поступающей на водоснабжение дома.

При необходимости дополнительно предусмотрена возможность зонального кондиционирования отдельных помещений за счет установки фэнкойлов. Подключение фэнкойлов и рекуператора системы вентиляции осуществляется с использованием насоса с частотно регулируемым приводом для перекачивания охлаждающей воды.

Второй задачей системы теплообеспечения в летний период является приготовление горячей воды и восстановление грунтового аккумулятора теплоты (рис. 5).

Основным источником тепловой энергии для нужд горячего водоснабжения являются тепловые солнечные коллекторы, установленные на крыше дома. Холодная вода из скважины поступает на станцию повышения давления и далее закачивается в баки-накопители холодной и горячей воды. Последние отличаются тем, что являются бойлерами косвенного нагрева с водяной «рубашкой» и встроенным электрическим нагревателем. Во внутреннюю секцию поступает холодная вода из станции повышения давления. Во внешнюю – нагретый в солнечных коллекторах раствор этиленгликоля. За счет этого происходит приготовление горячей воды. После заполнения обоих баков станция автоматически отключается в целях экономии электроэнергии. В случае, когда нет поступления солнечной энергии и происходит остывание горячей воды, в баке-накопителе автоматически включается электрический нагреватель.

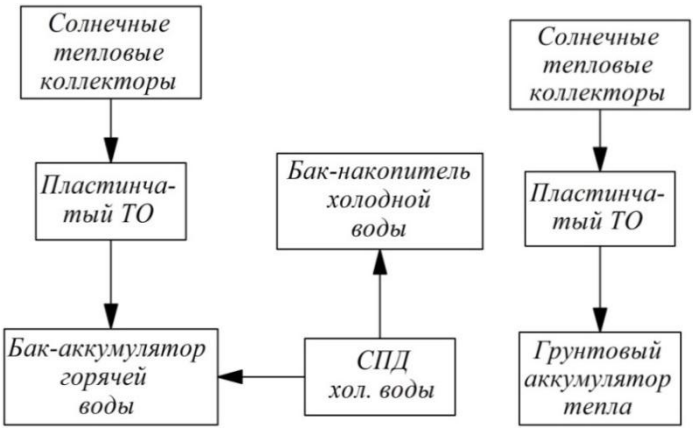


Рисунок 5. Приготовление горячей воды и регенерация грунтового аккумулятора теплоты

При профиците теплоты, полученной от солнечных коллекторов, нагретый раствор этиленгликоля прокачивается через пластинчатый теплообменник и, подогревая воду, восстанавливает тепловое состояние грунтового аккумулятора теплоты. В переходный и зимний периоды аккумулятор используется в качестве низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса.

Переходный период. В течение переходного периода среднесуточная температура наружного воздуха колеблется в пределах от +8 до +21 °С. В этих условиях основными задачами являются работа системы ГВС и покрытие тепловых потерь пассивного дома за счет работы системы вентиляции. Схема теплоснабжения в этот период представлена на рисунке 6.

Приготовление горячей воды в переходный период осуществляется по той же схеме, что и летом.

При понижении температуры внутреннего воздуха в двух и более помещениях ниже +20 °С часть нагретого в солнечных коллекторах раствора этиленгликоля поступает на пластинчатый теплообменный аппарат и нагревает воду, которая, в свою очередь, поступает на рекуператор системы вентиляции. Понижение температуры в двух и более помещениях принято для минимизации влияния человеческого фактора (например, наличие открытого окна) на автоматику системы теплообеспечения.

При сохранении тенденции снижения температуры внутреннего воздуха после заданного промежутка времени работы пластинчатого теплообменника происходит его отключение и включение теплового насоса. Этот механизм действует в ночные периоды или при снижении интенсивности солнечного излучения за счет облачности.

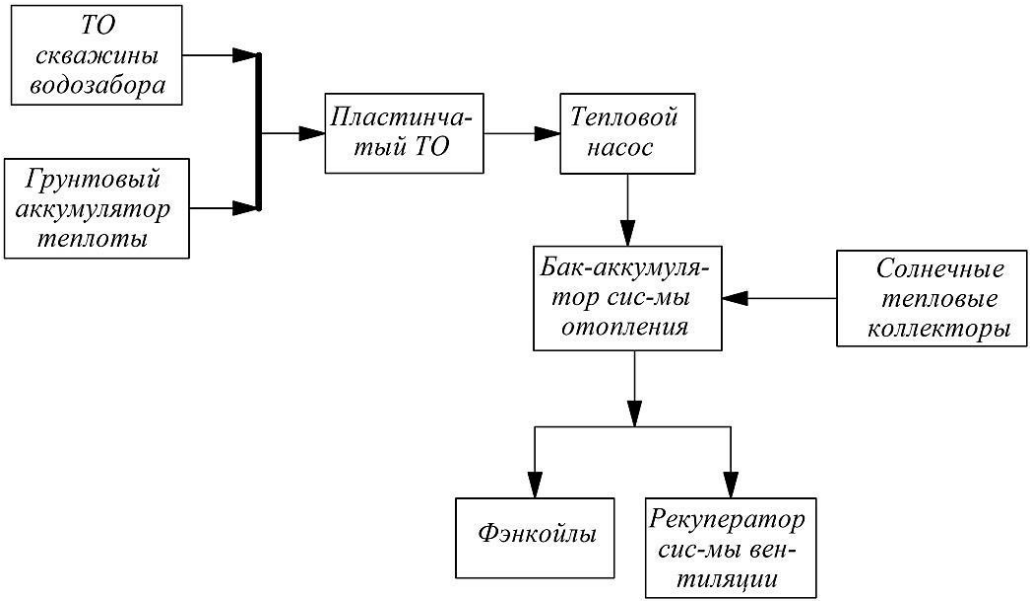


Рисунок 6. Работа системы теплообеспечения в переходный период года

В качестве источников низкопотенциальной тепловой энергии для теплового насоса предусмотрен набор теплообменников. Каждый из них имеет свой приоритет. Смена источника возможна как в автоматическом, так и в ручном режимах. В переходный период при включении теплового насоса первым источником низкопотенциальной энергии для него служит теплообменник скважины водозабора.

Тепловые потери дома в переходный период будут компенсироваться за счет работы системы вентиляции. Для повышения температуры внутреннего воздуха в отдельных помещениях возможно использование фэнкойлов. При снижении температурного потенциала водозаборной скважины до уровня, который не может обеспечить стабильную работу, происходит переключение источника низкопотенциальной энергии теплового насоса с теплообменника скважины водозабора на грунтовый аккумулятор теплоты.

Также в переходный период происходит зарядка бака-аккумулятора системы отопления. В зимний период его предполагается использовать для приготовления теплоносителя для низкотемпературных отопительных приборов.

Зимний период. Система теплообеспечения переключается в зимний режим работы при сохранении среднесуточной температуры наружного воздуха ниже +8 °С в течение трех суток. Основная задача в данный период – поддержание температуры внутреннего воздуха на уровне +20 °С вне зависимости от температуры наружного воздуха. Схема работы в зимний период представлена на рисунке 7.

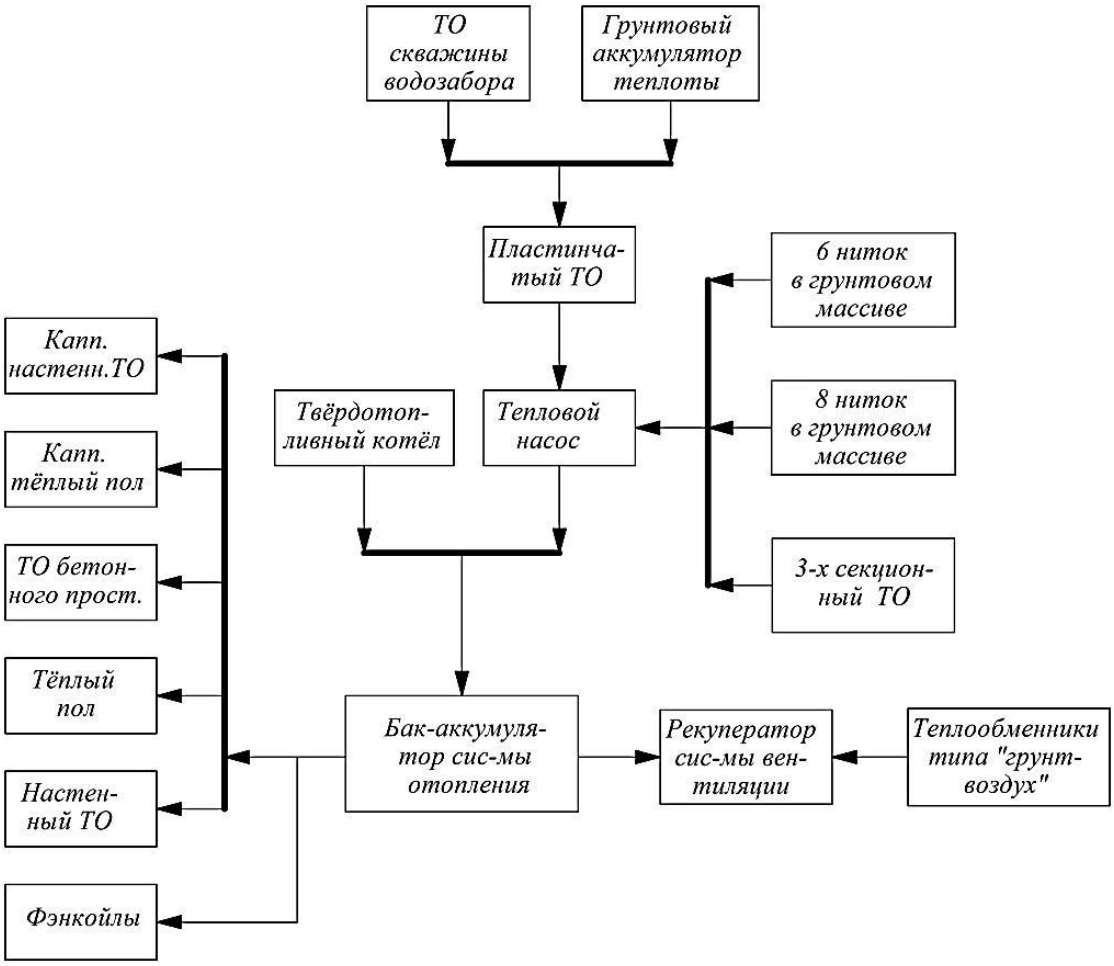


Рисунок 7. Работа системы теплообеспечения в зимний период

Основным источником теплоты для отопительных приборов в этом случае выступает тепловой насос. Также используются твердотопливный котел и миникогенерационная установка.

Приготовление горячей воды выполняется по уже знакомой нам схеме.

Отопление помещений реализуется как системой вентиляции и фэнкойлов, так и низкотемпературными отопительными приборами. Основные отопительные приборы: водяной

теплый пол, капиллярный теплый пол, трубчатый и капиллярный настенные теплообменники и теплообменник, вмонтированный в бетонную стену. В качестве резервного отопительного прибора выступает электрический теплый пол, который размещен перед входной дверью. Низкотемпературные отопительные приборы подключаются к тепловому насосу через бак-аккумулятор.

Особое внимание следует уделить группе теплообменников – источников низкопотенциальной теплоты для теплового насоса. Кроме теплообменника скважины водозабора и грунтового аккумулятора теплоты, предусмотрена еще группа теплообменников, расположенных в грунтовом массиве на территории ИТТФ НАН Украины.

В эту группу входят одноходовой теплообменник в виде 6 ниток трубы наружным диаметром 32 мм, образующих 3 петли длинной 15 м, а также 8 ниток трубы наружным диаметром 32 мм, образующих 4 петли длинной 20 м. Также представлен многоходовой паяный теплообменник, состоящий из 3 секций, материал – ПЕ100 с наружным диаметром трубы 40 мм.

На принципиальной гидравлической схеме комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома (рис. 8) показано движение теплоносителей в контурах, основное и вспомогательное оборудование.

Удельные тепловые нагрузки на отопительные приборы пассивного дома (максимальная плотность теплового потока):

- теплый пол электрический – 12 % (до 30 Вт/м^2);
- теплый пол водяной – 25 % (до 50 Вт/м^2);
- теплая стена водяная – 18 % (до 40 Вт/м^2);
- теплая стена капиллярная – 15 % (до 25 Вт/м^2);
- воздушные отопительные приборы (фэнкойлы) – 30 %.

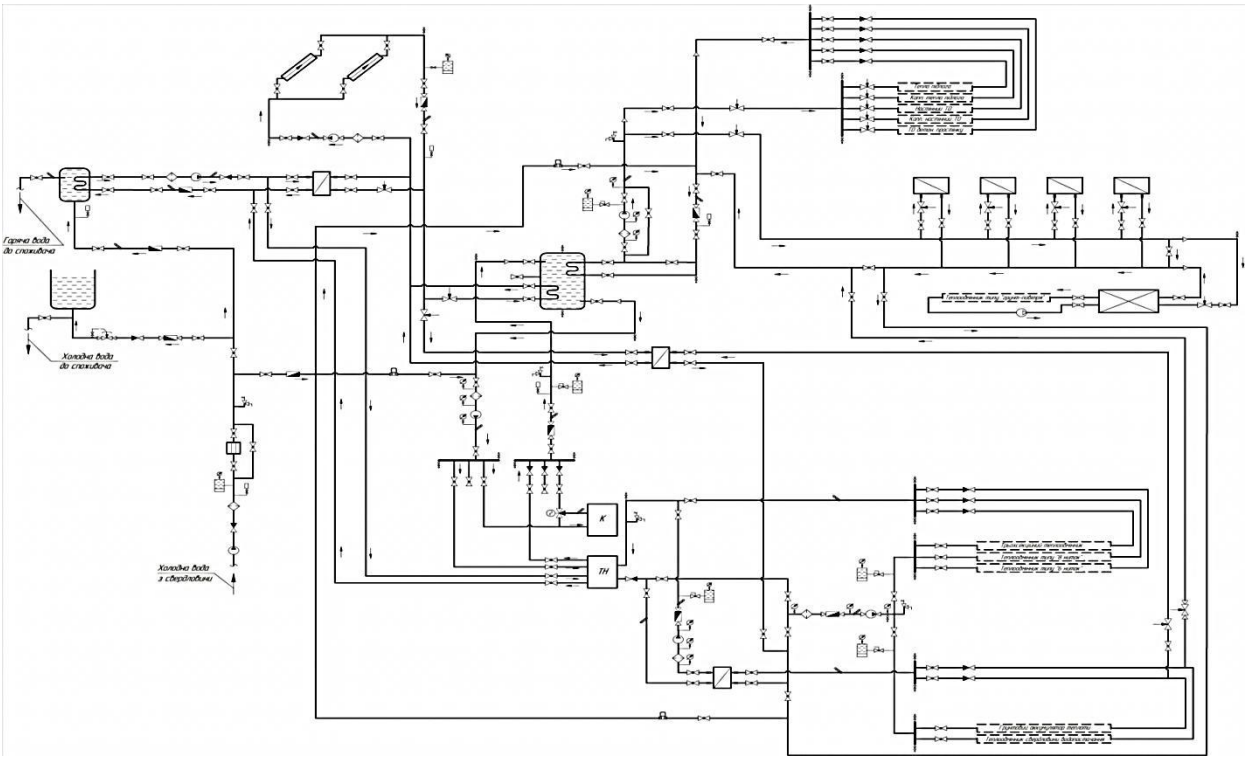


Рисунок 8. Принципиальная гидравлическая схема комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

Таким образом, коллективом авторов представлены основные этапы создания и режимы работы комбинированной системы теплообеспечения дома пассивного типа площадью 300 м^2. В настоящее время выполняется монтаж системы и установка контрольно-измерительного оборудования в помещениях дома. По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Показано, что современное энергоэффективное строительство нуждается в разработке и внедрении комбинированных систем теплообеспечения на основе возобновляемых источников энергии.

2. Предложена концепция круглогодичной работы системы теплообеспечения пассивного дома, которая, по мнению авторов, позволяет значительно повысить комфорт в помещениях различного назначения.

3. Данная схема может быть применена как в бюджетной сфере (при строительстве или термомодернизации существующих детских садов, школ и т.д.), так и в частной застройке (коттеджи, дачи, загородные дома).

Литература

1. Шабанов В. Кольцевые теплонасосные системы // Тепловые насосы. 2013. № 6 (15). С. 28–34.
2. Ibrahim O., Fardoun F., Younes R, Louahlia-Gualous H. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects // Building and Environment. 2014. Vol. 72. Pp. 259–286.
3. Мазуренко А.С., Климчук А.А., Юрковский С.Ю., Омеко Р.В. Разработка схемы комбинированной системы теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования тепла от гелиосистем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №8(73). С. 17–20.
4. Аверьянова О.В. Климатические системы с тепловыми насосами и водяным контуром // Инженерно-строительный журнал. 2009. №2. С. 19–22.
5. Fong K.F., Chow T.T., Hanby V.I. Development of Optimal Design of Solar Water Heating System by Using Evolutionary Algorithm // Journal of Solar Energy Engineering. 2006. Vol.129. №4. Pp. 499–501.
6. Мазуренко О.А., Климчук А.А., Шраменко А.Н., Сычева Е.А. Сравнительный анализ систем децентрализованного теплоснабжения жилых домов с использованием электроэнергии // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. №8(71). С. 21–25.
7. Стрижак П.А., Морозов М.Н. Энергоэффективность системы теплоснабжения зданий при различных методах регулирования теплопотребления // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. №3(202). С. 88–96.
8. Бусо Т., Корнати С.П., Курнитски Я. Отель с почти нулевым потреблением энергии // Тепловые насосы. 2014. №5(20). С. 52–55.
9. Васильев Г.П., Песков Н.В., Личман В.А., Горнов В.Ф., Колесова М.В. Моделирование теплового режима термоскважин геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения. Ч. 1. Учет замерзания поровой влаги в грунте // Теплоэнергетика. 2015. №8. С. 11–16.
10. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь через краевые зоны ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. №3. С. 348–351.
11. Горшков А.С., Ракова К.М., Мусорина Т.А., Цейтин Д.Н., Агишев К.Н. Проект здания с низким потреблением тепловой энергии на отопление // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4(31). С. 232–247.
12. Безродный М.К., Притула Н.А. Эффективность теплонасосных систем отопления с использованием теплоты предварительно подогретого атмосферного воздуха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. №8(65). С. 24–28.
13. Калинин М.И., Шахназаров С.Г. Оптимизация технолого-технических и регионально-геологических решений при разработке и внедрении в России инновационных

References

1. Shabanov V. Koltsevyye teplonasosnyye sistemy [Annular heat pump systems]. *Teplovyye nasosy*. 2013. No. 6(15). Pp. 28–34. (rus)
2. Ibrahim O., Fardoun F., Younes R, Louahlia-Gualous H. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. *Building and Environment*. 2014. Vol. 72. Pp. 259–286.
3. Mazurenko A.C, Klimchuk A.A, Yurkovskiy S.Yu, Omeko R.V. Razrabotka skhemy kombinirovannoy sistemy teplosnabzheniya s ispolzovaniyem sezonnogo akkumulirovaniya tepla ot geliosistem [Development of the scheme combined heat supply system using seasonal storage of heat from solar systems]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. No. 8(73). Pp. 17–20. (rus)
4. Averyanova O.V. Klimaticheskiye sistemy s teplovymi nasosami i vodyanym konturom [Climate systems with heat pumps and water circuit]. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 2. Pp. 19–22. (rus)
5. Fong K., Chow T., Hanby V. Development of Optimal Design of Solar Water Heating System by Using Evolutionary Algorithm. *Journal of Solar Energy Engineering.* 2006. Vol.129. No. 4. Pp. 499–501.
6. Mazurenko A.C, Klimchuk A.A, Shramenko A.N., Sycheva Ye.A. Sravnitelnyy analiz sistem detsentralizovannogo teplosnabzheniya zhilykh domov s ispolzovaniyem elektroenergii [Comparative analysis of decentralized heating of houses with electricity]. Eastern-European Journal of *enterprise Technologies*. 2014. No. 8(71). Pp. 21–25. (rus)
7. Strizhak P.A., Morozov M.N. Energoeffektivnost sistemy teplosnabzheniya zdaniy pri razlichnykh metodakh regulirovaniya teplopotrebleniya [Energy efficiency of heating buildings with different methods of heat consumption control]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2014. No. 3(202). Pp. 88–96. (rus)
8. Buso T., Kornati S.P., Kurnitski Ya. Otel s pochti nulevym potrebleniyem energii [Hotel with almost zero energy consumption]. *Teplovyye nasosy*. 2014. No. 5(20). Pp. 52–55. (rus)
9. Vasilyev G.P., Peskov N.V., Lichman V.A., Gornov V.F., Kolesova M.V. Modelirovaniye teplovogo rezhima termoskvazhin geotermalnykh teplonasosnykh sistem teplosnabzheniya. Ch. 1. Uchet zamerzaniya porovoy vlagi v grunte [Modelling of the thermal regime of the geothermal heat pump termoskvazhin heating systems. Part 1. Consideration of freezing in the soil pore water]. *Thermal Engineering*. 2015. No. 8. Pp. 11–16. (rus)
10. Korniyenko S.V. Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter cherez krayevyye zony ograzhdayushchikh konstruktsiy [Improving the energy efficiency of buildings by reducing heat loss through the boundary zone walling]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2010. No.3. Pp. 348–351. (rus)
11. Gorshkov A.S., Rakova K.M,, Musorina T.A., Tseytin D.N., Agishev K.N. Proyekt zdaniya s nizkim potrebleniyem

технологий на возобновляемых энергоресурсах // Тепловые насосы. 2011. №1 (1). С. 12–22.

14. Батухтин А.Г., Кобылкин М.В. Тепловые насосы в российских системах отопления. Проблемы и перспективные решения [Электронный ресурс] // Электронный научно-практический журнал «NAUKA-RASTUDENT.RU».. 2014. №11. URL: http://nauka-rastudent.ru/11/2176/ (Дата обращения 13.10.2015).
15. Стефанюк В.В. Интеллектуальная система поддержки функционирования теплонасосного энергоснабжения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. №10 (45). С. 33–35.
16. Ozgener L., Hepbasli A., Dincer I. Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems:an application // Building and Environment. 2005. Vol. 40. Pp. 1309–1322.
17. Суходуб И.О., Дешко В.И. Эксергетический анализ систем вентиляции с утилизацией полной теплоты // Инженерно-строительный журнал. 2014. №2. С. 36–46.
18. Trinkl C., Zörner W., Hanby V. Simulation study on a Domestic Solar/Heat Pump Heating System Incorporating Latent and Stratified Thermal Storage // Journal of Solar Energy Engineering. 2009. Vol.131. № 4. Pp. 0410081–0410088.
19. Корниенко С.В. Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий // Инженерно-строительный журнал. 2013. №8. С. 24–30.
20. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Меранова Н.О., Гнедой Н.В., Иваненко Г.В., Юрчук В.Л., Гнедаш Г.А. Энергетическая эффективность комбинированных систем традиционного и электрического отопления зданий // Промышленнаятеплотехника. 2011. №5. Т. 33. С. 35–39.
21. Robinson B., Albanese M., Chmielewski N., Brehob E., Sharp K.. Heat Pipe Augmented Solar Heating System // Proceedings of ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability. 2010. Vol.2. Pp. 195–199.
22. Трофименко А.В., Дубов М.Ю., Лапко Д.П., Назаренко М.А., Подлепим В.Ю., Безнощенко Д. В. Результаты эксплуатации солнечных коллекторов в системе теплоснабжения дома // Промышленная теплотехника. 2011. №5. Т. 33. С. 54–60.
23. Chiasson A., Spitler J., Rees S., Smith M. A Model for Simulating the Performance of a Pavement Heating System as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems // Journal of Solar Energy Engineering 2000. Vol. 122. №4. Pp. 183–191.
24. Недбайло А.Н., Ляшенко Н.Е. Использование солнечного коллектора для отопления помещения // Промышленная теплотехника. 2010. №4. Т. 35. С. 66–70.
25. Недбайло А.Н., Ляшенко Н.Є., Рутенко А.А. Анализ экономической эффективности работы комбинированной гелиогрунтовой аккумуляционной системы теплоснабжения // Промышленная теплотехника. 2011. №3. Т. 37. С. 62–68.
26. Басок Б.И., Коба А.Р., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г., Тесля А.И., Хибина М.А., Ткаченко М.В., Лунина А.О. Создание грунтовых водо-водяных теплообменников для теплонасосных технологий теплоснабжения // Наука и инновации. 2012. №1. Т. 8. С. 67–76.
27. Басок Б.И., Недбайло А.Н., Новицкая М.П., Ткаченко М.В. Моделирование теплового состояния помещения с системой водяного полового отопления // Промышленная теплотехника. 2012. №7. Т. 34. С. 65–73.
28. Small D. Technical Considerations in a Zero Energy Home // Proceedings of ASME 2008 2nd International Conference on Energy Sustainability. 2008. Vol. 2. Pp. 287–295.
29. Долинский А.А. Басок Б.И., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г., Хибина М.А., Ткаченко М.В., Новицкая М.П. Концептуальные основы создания экспериментального

teplovoy energii na otopleniye [The building project with low consumption of heat energy for heating]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 4(31). Pp. 232–247. (rus)

12. Bezrodnyy M.K., Pritula N.A. Effektivnost teplonasosnykh sistem otopleniya s ispolzovaniyem teploty predvaritelno podogretogo atmosfernogo vozdukha [Efficiency of heat pump heating systems using heat preheated air]. *Eastern-European Journal of enterprise Technologies*. 2013. No. 8(65). Pp. 24–28. (rus)
13. Kalinin M.I., Shakhnazarov S.G. Optimizatsiya tekhnologo-tekhnicheskikh i regionalno-geologicheskikh resheniy pri razrabotke i vnedrenii v Rossii innovatsionnykh tekhnologiy na vozobnovlyayemykh energoresursakh [Optimization of technological and technical and regional geological solutions for the development and implementation of innovative technologies in Russia for renewable energy]. *Teplovyye nasosy*. 2011. No. 1(1). Pp. 12–22. (rus)
14. Batukhtin A.G., Kobylkin M.V. Teplovyye nasosy v rossiyskikh sistemakh otopleniya. Problemy i perspektivnyye resheniya [Heat pumps in Russian heating systems. Problems and future solutions]. *Elektronnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal «NAUKA-RASTUDENT.RU»*. [Elektronnyy resurs]. 2014. No.11. URL: http://nauka-rastudent.ru/11/2176/ (accessed: October 13 2015). (rus)
15. Stefanyuk V.V. Intellektualnaya sistema podderzhki funktsionirovaniya teplonasosnogo energosnabzheniya [Intellectual functioning support system heat pump energy supply]. *Eastern-European Journal of enterprise Technologies.* 2010. No. 10(45). Pp. 33–35. (rus)
16. Ozgener L., Hepbasli A., Dincer I. Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems:an application. *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. Pp. 1309–1322.
17. Sukhodub I.O., Deshko V.I. Eksergeticheskiy analiz sistem ventilyatsii s utilizatsiyey polnoy teploty [Exergy analysis of ventilation systems with utilization of the total heat]. *Civil Engineering*. 2014. No. 2. Pp. 36–46. (rus)
18. Trinkl C., Zörner W., Hanby V. Simulation study on a Domestic Solar/Heat Pump Heating System Incorporating Latent and Stratified Thermal Storage. *Journal of Solar Energy Engineering*. 2009. No. 4. Vol. 131. Pp. 0410081–0410088.
19. Korniyenko S.V. Raschetno-eksperimentalnyy kontrol energosberezheniya zdaniy [Design and experimental control of energy saving buildings]. *Civil Engineering*. 2013. No.8. Pp. 24–30. (rus)
20. Fialko H.M, Sherenkovskiy Yu.V., Prokopov V.G., Meranova N.O., Gnedoy N.V., Ivanenko G.V., Yurchuk V.L., Gnedash G.A. Energeticheskaya effektivnost kombinirovannykh sistem traditsionnogo i elektricheskogo otopleniya zdaniy [The energy efficiency of the combined systems of traditional and electric heating of buildings*]. Industrial heat engineering*. 2011. Vol. 33. No. 5. Pp. 35–39. (rus)
21. Robinson B., Albanese M., Chmielewski N., Brehob G, Sharp M. Heat Pipe Augmented Solar Heating System. *Proceedings of ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability*. 2010. Vol. 2. Pp. 195–199.
22. Trofimenko A.V., Dubov M.Yu., Lapko D.P., Nazarenko M.A., Podlepim V.Yu., Beznoshchenko D.V. Rezultaty ekspluatatsii solnechnykh kollektorov v sisteme teplosnabzheniya doma [The results of exploitation of solar collectors in the heating system at home]. *Industrial heat engineering*. 2011. No. 5. Vol. 33. Pp. 54–60. (rus)
23. Chiasson A., Spitler J., Rees S., Smith M. A Model for Simulating the Performance of a Pavement Heating System as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems. *Journal of Solar Energy Engineering.* 2000. Vol. 122. No. 4. Pp. 183–191.

дома типа «ноль энергии» // Строительные конструкции: Межведомственный научно-технический сборник научных трудов (строительство) / Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. К: ГП НИИСК. 2013. Вып. 77. С. 222–227.

30. McLeod R., Hopfe C, Kwan A. An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings // Building and Environment. 2013. Vol. 70. Pp. 189–209.
31. Tsirlin A. M., Andreev D.A., Mogutov V. A., Kazakov V. Optimal Thermostatting // International Journal of Applied Thermodynamics. 2003. Vol. 6. №2. Pp. 79–84.
32. ДБН В.2.5.67-2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование // Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. К: Минрегион Украины. 2013.

24. Nedbaylo A.N., Lyashenko N.E. Ispolzovaniye solnechnogo kollektora dlya otopleniya pomeshcheniya [Use of solar collector as heating rooms]. *Industrial heat engineering.* 2010. Vol. 35. No. 4. Pp. 66–70. (rus)
25. Nedbaylo A.N., Lyashenko N.E., Rutenko A.A. Analiz ekonomicheskoy effektivnosti raboty kombinirovannoy geliogruntovoy akkumulyatsionnoy sistemy teplosnabzheniya [Cost-effectiveness analysis of the combined helio-soil accumulative heating system]. *Industrial heat engineering*. 2011. Vol. 37. No. 3. Pp. 62–68. (rus)
26. Basok B.I., Koba A.R., Nedbaylo A.N., Belyayeva T.G., Teslya A.I., Khibina M.,A. Tkachenko M.V., Lunina A.O. Sozdaniye gruntovykh vodo-vodyanykh teploobmennikov dlya teplonasosnykh tekhnologiy teplosnabzheniya [Creation of ground water-water heat exchangers for heat pump heating technology]. *The Science and Innovations*. 2012. Vol. 8. No. 1. Pp. 67–76. (rus)
27. Basok B.I., Nedbaylo A.N., Novitskaya M.P., Tkachenko M.V. Modelirovaniye teplovogo sostoyaniya pomeshcheniya s sistemoy vodyanogo polovogo otopleniya [Modeling of the thermal state of the premises with the system of water underfloor heating]. Industrial heat engineering. 2012. Vol. 34. No. 7. Pp. 65–73. (rus)
28. Small D. Technical Considerations in a Zero Energy Home. *Proceedings of ASME 2008 2nd International Conference on Energy Sustainability*. 2008. Vol. 2. Pp. 287–295.
29. Dolinskiy A.A., Basok B.I., Nedbaylo A.N., Belyayeva T.G., Khibina M.A., Tkachenko M.V., Novitskaya M. Kontseptualnyye osnovy sozdaniya eksperimentalnogo doma tipa «nol energii» [The conceptual basis for the creation experimental house of the "zero energy"]. *Stroitelnyye konstruktsii: Mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskiy sbornik nauchnykh trudov (stroitelstvo):* Gosudarstvennoye predpriyatiye «Gosudarstvennyy nauchno-issledovatelskiy institut stroitelnykh konstruktsiy» Ministerstva regionalnogo razvitiya, stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Ukrainy. Kiev: GP NIISK. 2013. Vol. 77. Pp. 222–227.(rus)
30. McLeod R., Hopfe C., Kwan A. An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings. *Building and Environment*. 2013. Vol. 70. Pp. 189–209.
31. Tsirlin A.M., Andreev D.A., Mogutov V.A., Kazakov V. Optimal Thermostatting // International Journal of Thermodynamics. 2003. Vol. 6. No. 2. Pp. 79–84.
32. *DBN V.2.5.67-2013 Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye [Heating, ventilation and air conditioning].* Ministerstvo regionalnogo razvitiya, stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Ukrainy. K: Minregion Ukrainy. 2013. (rus)

Борис Иванович Басок,
+380444569272; эл. почта: basok@ittf.kiev.ua

Игорь Константинович Божко,
+3(044)4242527; эл. почта: bozhkoik@gmail.com

Александр Николаевич Недбайло,
+3(044)4242527; эл. почта: nan_sashulya@ukr.net

Оксана Николаевна Лысенко,
+3(044)4249644; эл. почта: lisenko_oks@ukr.net

Borys Basok,
+380444569272; basok@ittf.kiev.ua

Igor Bozhko,
+3(044)4242527; bozhkoik@gmail.com

Alexander Nedbaylo,
+3(044)4242527; nan_sashulya@ukr.net

Oksana Lysenko,
+3(044)4249644; lisenko_oks@ukr.net

© Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н., 2015

doi: 10.5862/MCE.58.5

Оценка зонального распределения метана на полигонах ТБО северных регионов для его использования местной энергетикой

Assessment of zonal distribution of methane on MSW landfills in northern regions for its usage in local power engineering

Канд. техн. наук, заведующий кафедрой А.Н. Чусов,
д-р техн. наук, профессор В.И. Масликов,
старший преподаватель Д.В. Молодцов,
аспирант В.В. Жажков,
инженер О.А. Рябухин,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

A.N. Chusov,
V.I. Maslikov,
D.V. Molodtsov,
V.V. Zhazhkov,
O.A. Riabuokhin,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Ключевые слова: биогаз; полигон ТБО; теплоснабжение; электроснабжение; газоснабжение; отходы; метан; энергетический потенциал; холодный климат.

Key words: biogas; MSW landfill; heat supply; gas supply; electricity supply; waste; methane; energy potential; cold climate.

Аннотация. Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) являются источниками выбросов биогаза, содержащего метан, который может быть использован для нужд местной энергетики. Объекты, расположенные в северных регионах, из-за неблагоприятных климатических условий традиционно считаются неперспективными для добычи и использования биогаза, но объективных подтверждений этому нет. Была поставлена задача оценки зонального распределения метана ряда таких полигонов с целью определения их энергетического потенциала. Это требует проведения специальных натурных исследований, позволяющих получить данные о составе и интенсивности эмиссии биогаза, характеризующие процессы, происходящие в теле полигона. Следует отметить, что использование математических моделей, не в полной мере отражающих специфику конкретного полигона, не позволяет получить достоверную информацию о его биогазовом потенциале. В данной работе приведены результаты исследований по оценке биогазового потенциала трех городских полигонов ТБО, расположенных в различных природно-климатических зонах Северо-Западного федерального округа с атлантико-континентальным и умеренно-континентальным климатом. Исследования показали, что биохимические процессы разложения отходов с выделением биогаза с высокой концентрацией метана (50 % об. и более) могут активно протекать в условиях относительно сурового климата. Это подтверждает наличие энергетического потенциала подобных полигонов, который может быть использован для нужд тепло-, электро- и газоснабжения населения и других целей.

Abstract. Municipal solid waste (MSW) landfills located in regions of Russia with low temperatures and relatively low rainfall averages are considered unpromising in terms of their biogas potential; however, these claims have not been substantiated. Assessment of the biogas potential of such landfills requires special field research for analyzing biogas composition and emission speed, which could define the processes taking place inside a landfill. We should note that the use of mathematical models that do not take into account the specifics of a particular landfill makes it impossible to get detailed and reliable information about its biogas potential. This work contains the results of research conducted for assessing the biogas potential of three municipal solid waste landfills located in various zones of the Northwestern Federal District with Atlantic continental and moderately continental climate. The research showed that biochemical processes of waste decomposition accompanied by the emission of biogas with high (50 vol% and above) methane content are possible even in areas with a relatively cold climate. This confirms the presence of the energy potential of these landfills, which can be used for the needs of heat, electricity and gas supply to the population, etc.

В Российской Федерации ежегодно образуется около 55…60 млн. т. твердых бытовых отходов, основная часть которых (~93 %) захоранивается на полигонах и свалках [1, 2].

В процессе эксплуатации полигонов и после их закрытия в течение длительного времени наблюдаются выбросы биогаза, содержащего метан (до 60 % об.) – ценное топливо и сильный парниковый газ. В зависимости от объема свалочных масс выбросы биогаза составляют от нескольких десятков и сотен литров в секунду (малые и небольшие полигоны) до нескольких десятков кубических метров в секунду (крупные и крупнейшие полигоны). Таким образом, рядом с населенными пунктами существуют стабильные и доступные источники антропогенного метана. Известно, что теплотворная способность биогаза в среднем составляет 6 кВт·ч/м^3 (21,6 МДж/м^3). По теплотворной способности 1 м^3 биогаза эквивалентен 0,6 литров нефтепродуктов [3]. Сегодня в мире реализовано большое количество проектов по использованию свалочного биогаза для тепло-, электро- и газоснабжения населения, для нужд транспорта и различных производственных процессов. Установка, работающая на биогазе относительно небольшого полигона, может обеспечить энергией и теплом около 100 домов.

Естественные выбросы биогаза представляют опасность для окружающей среды, так как являются одной из главных причин возгорания свалочных масс с выбросами особо опасных веществ. Кроме того, при разложении отходов образуется токсичный фильтрат, загрязняющий поверхностные и грунтовые воды. В результате состояние многих полигонов не соответствует современным экологическим требованиям.

Особую остроту и важность проблема эксплуатации полигонов ТБО приобретает в северных регионах страны с холодным климатом. С одной стороны, относительная бедность муниципалитетов, неразвитость систем обращения отходов, сложность их захоронения в условиях длительного промерзания грунтов являются одними из причин плохого состояния многих полигонов. С другой стороны, для тепло-, электро- и газоснабжения населения завозится дорогостоящее топливо, экономия которого возможна за счет использования местных видов энергоресурсов, в частности, свалочного биогаза [4–6].

Одним из таких регионов является Северо-Западный федеральный округ, где ежегодно образуется более 5,5 млн. т. ТБО [7]. Ряд полигонов, в том числе крупных, в ближайшее время должен быть закрыт и рекультивирован [8, 9]. Для уменьшения эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду полигоны должны иметь эффективные системы инженерной защиты, тип которых определяется их состоянием, составом и эмиссией биогаза и фильтрата, образующихся при разложении отходов. Полноценной, обеспечивающей экологическую безопасность полигона, но относительно дорогой является система, предусматривающая сбор биогаза. Такая система представляет собой сложное инженерное сооружение, включает верхнее и нижнее многослойные изолирующие покрытия, газовые скважины, коллекторную и дренажную сети для отвода биогаза и фильтрата, очистное оборудование и др. [10–14]. Снизить затраты на обустройство полигона можно путем получения дополнительного дохода при использовании биогаза в качестве топлива для нужд местной энергетики, а также путем продажи квот на выбросы парниковых газов [15–18]. Таким образом, вид рекультивации во многом будет зависеть от биогазового потенциала полигона [19–23].

Эффективность использования энергетического потенциала полигона ТБО во многом будет определяться достоверными оценками эмиссии биогаза, что представляет собой сложную научно-техническую задачу [22]. Разные объемы и морфологический состав отходов, время и способ их захоронения, климатические условия, температурный режим и др. обуславливают изменчивость состава, мозаичность распределения газовых эмиссий на поверхности тела полигона, сезонные и годовые колебания выбросов биогаза. Это затрудняет создание универсальных математических моделей, адекватно отражающих специфику функционирования конкретных полигонов. Применение известных математических моделей [24], учитывающих ограниченное количество факторов, приводит к большим погрешностям в определении биогазового потенциала. В результате реальная энергоотдача дорогостоящих систем сбора и использования биогаза оказывается значительно ниже проектной, ухудшаются экономические показатели.

Возникает потребность в разработке и апробации методов оценки и прогноза эмиссии биогаза с полигонов, позволяющих с использованием относительно недорогого оборудования получать достоверные данные об их энергетическом потенциале. Это требует проведения многоэтапных специальных натурных и лабораторных исследований [25] для получения необходимой информации о составе биогаза, величине текущей эмиссии, динамике ее изменения во времени и объемах. На первом этапе проводится газогеохимическая съемка поверхности тела полигона. Это позволяет определить состав биогаза и выделить участки полигона с высоким

содержанием метана. Следующая стадия исследований – определение удельных объемов эмиссии биогаза этих участков. Для этого могут быть использованы следующие методы: аналитический, скважинный, с помощью бокса-газоуловителя и др. [26–29].

Для условий российских полигонов рекомендуется производить оценку интенсивности эмиссии биогаза из верхнего слоя с использованием газоуловителя в виде специального бокса (flux box), в котором собирается выделяющийся на исследуемых участках биогаз. Эмиссия метана (*F*) на исследуемом участке может определяться с использованием зависимости (1) [30, 31]:

$$F = \frac{V}{A}\left(\frac{dC}{dt}\right), \text{ [мг/(м}^2\text{·с)]}, \quad (1)$$

где *V* – объем камеры [м^3], *A* – площадь камеры [м^2], *dC/dt* – изменение концентрации метана во времени [мг/(м^3·с)].

С учетом влияния метеопараметров эмиссию метана F [мг·м$^{-2}$·ч$^{-1}$] можно определить с использованием зависимости (2) [32]:

$$F = \frac{D_{ppm} \cdot P \cdot V \cdot M}{D_{time} \cdot A \cdot T \cdot R}, \text{ [мг·м}^{-2}\text{·ч}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

где D_{ppm} – разность концентраций [ppm], D_{time} – промежуток времени [ч], *P* – давление [Па], *V* – объем камеры [м^3], *M* – молярная масса метана [кг/моль], *A* – площадь камеры [м^2], *T* – температура [К], *R* – газовая постоянная [8,3145 Па·м^3·моль$^{-1}$·К$^{-1}$].

Зная площадь участков, нетрудно определить общий выброс биогаза. Следует отметить, что эти исследования позволяют только определить эмиссию на текущее время, но не прогнозировать даже на ближайшую перспективу, поэтому важным этапом является лабораторный эксперимент.

Технология лабораторного моделирования состоит в том, что исследуемый материал помещают в герметично закрытый биореактор, в котором поддерживается режим, соответствующий условиям полигона.

Создавая оптимальные условия в биореакторах, можно ускорить разложение отходов в десятки и более раз и за несколько месяцев работы лабораторной установки собрать информацию о процессах, происходящих в естественных условиях в течение многих десятков лет. Полученные результаты могут быть использованы при выборе математических моделей и их корректировке под условия конкретного полигона для прогноза динамики его биогазового потенциала [25].

Температура воздуха и количество осадков в зоне размещения полигонов имеет определяющее значение для разложения отходов, а следовательно, для динамики образования биогаза и его состава [33]. Полигоны ТБО, расположенные в регионах РФ с низкими температурами воздуха и относительно небольшим количеством осадков, считаются неперспективными объектами для использования биогазового потенциала. Однако достоверных подтверждений этому нет.

В данной статье основное внимание уделено начальному этапу исследований – проведению газогеохимической съемки на таких полигонах с целью получения предварительной информации о биогазовом потенциале, данных о пространственном распределении основных компонентов биогаза на различных участках захоронения для районирования территории полигона по степени насыщенности метаном и др. Была поставлена задача выявить зоны с высокой концентрацией метана (50 % об. и более), перспективные для добычи биогаза. В качестве примера приведены результаты исследований по оценке биогазового потенциала трех городских полигонов ТБО, расположенных в различных природно-климатических зонах Северо-Запада [34]. Полигон №1 (ТБО №1) расположен в регионе с атлантико-континентальный климатом, средняя температура января −6,6 °С, июля – +18,3 °С. Годовое количество осадков – 625 мм. Среднегодовая температура воздуха в зоне размещения полигонов равна 5,4 °С. Площадь полигона №1 составляет более 40 га, его эксплуатация начата в 1999 году. Состояние полигона может оцениваться как удовлетворительное. В настоящее время на полигон вывозится около 900 тыс. т. отходов в год. Предполагается создание на полигоне временной газосборной сети, так как это позволит уменьшить выбросы загрязняющих веществ и более полно использовать его биогазовый потенциал.

Полигоны №2 и №3 (ТБО №2 и ТБО №3) расположены в зоне с умеренно-континентальным климатом. Средняя температура января −15,0 °С, июля – +17,2 °С. Годовое количество осадков – 556 мм. Среднегодовая температура воздуха в зоне размещения полигонов равна 1,0 °С. Площадь полигона №2 составляет около 33 га, его эксплуатация начата в 1971 году. В настоящее время на полигон вывозится более 700 тыс. м^3 отходов в год. Площадь полигона №3 составляет порядка 11 га. Эксплуатация начата в 1966 г.

Полигоны №2 и №3 находятся в неудовлетворительном состоянии, имеются обширные участки возгорания отходов. Предполагается, что эмиссия свалочного метана способствует возникновению пожаров.

Отбор проб биогаза на полигонах

Газогеохимическая съемка тела полигона производится путем отбора проб биогаза из верхнего слоя захороненных отходов (рис. 1).

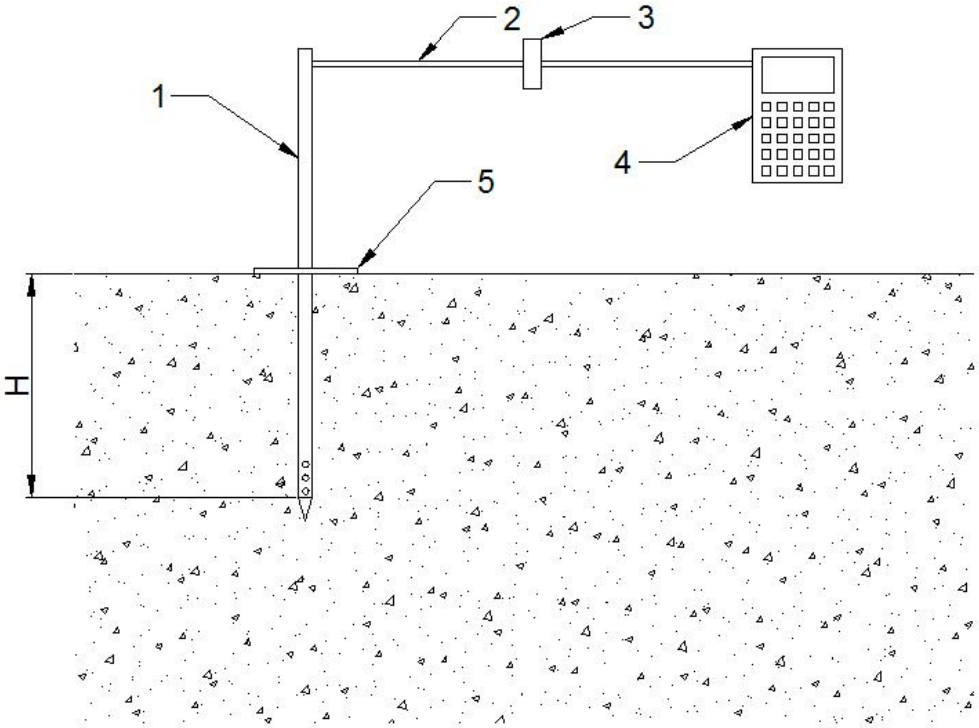


Рисунок 1. Схема отбора проб биогаза из верхнего слоя отходов: 1 – пробоотборник (зонд); 2 – газовая линия; 3 – фильтры для защиты газоанализатора от пыли и влаги; 4 – газоанализатор со встроенным побудителем расхода; 5 – ограничительное кольцо; *H* – глубина отбора пробы биогаза

Метод отбора основан на введении зонда 1 в слой отходов на определенную глубину *H* с последующей откачкой и анализом состава газа при помощи портативного газоанализатора 4, предназначенного для работы с биогазами различного состава и происхождения непосредственно на месте измерения.

Перед началом работы с газоанализатором осуществляется калибровка нуля азотом высокой чистоты и замена фильтров. Дополнительно может определяться температура на глубине отбора проб при помощи электронного цифрового термометра с выносным датчиком.

Предварительно на ситуационном плане полигона по согласованию с представителями эксплуатирующей организации намечаются участки отбора проб с сеткой не более 50×50 м. Конкретные точки отбора проб определяются непосредственно на месте в зависимости от возможности проведения измерений. Для их фиксации целесообразно использовать высокоточный защищенный (по стандарту IPX7) портативный GPS-навигатор. С целью обеспечения безопасности проведения работ при выборе точки отбора пробы бесконтактным

методом измеряется температура отходов на поверхности тела полигона для выявления возможных зон подпочвенного горения свалочных масс.

Исследования на всех полигонах проводились в осенний период. Отбор проб на полигоне ТБО №1 производился при средней температуре воздуха +13 °С. С учетом большой площади полигона измерения были проведены в 90 точках, удаленность соседних точек не более 50 м (рис. 1). Отбор проб производился с глубины 50 см, определялось содержание метана и углекислого газа, а также дополнительно сероводорода, кислорода, угарного газа [35].

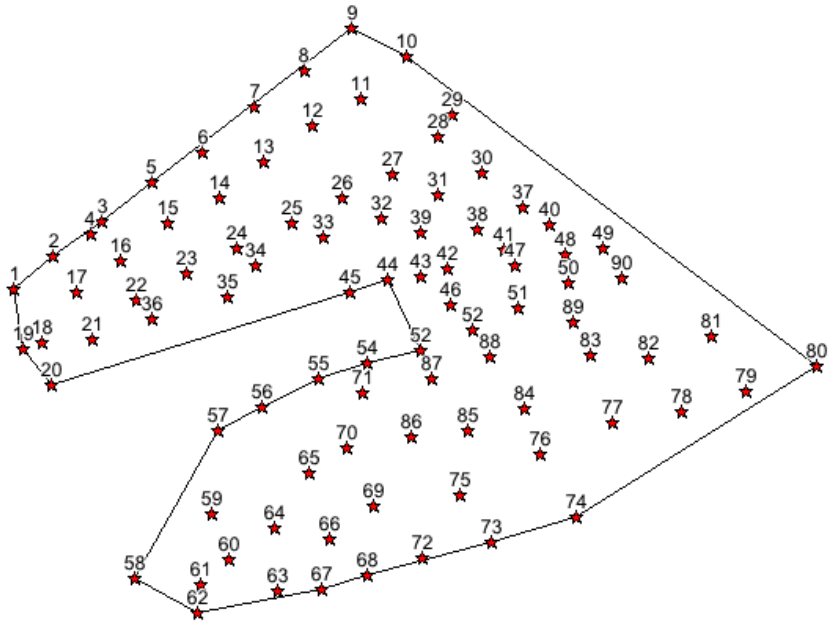


Рисунок 2. Расположение точек отбора проб на теле полигона №1

На рисунке 3 представлены трехмерные карты зонального распределения метана, углекислого газа, сероводорода и кислорода в верхнем слое отходов, позволяющие планировать мероприятия на конкретных участках полигона.

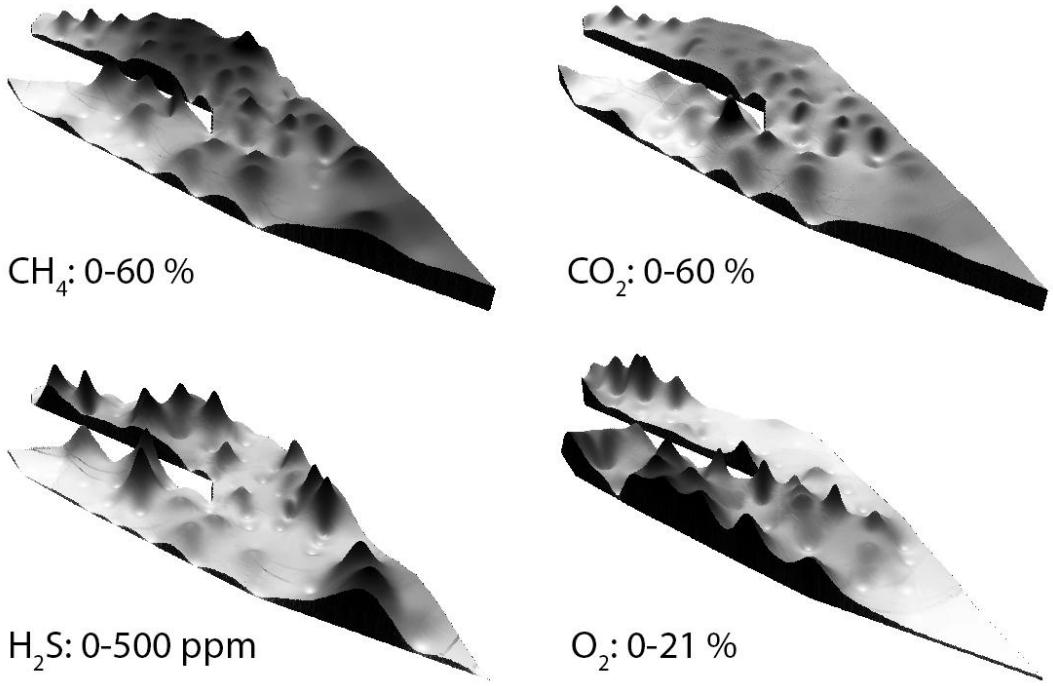


Рисунок 3. Трехмерные карты содержания метана, углекислого газа, сероводорода и кислорода в газе поверхностного слоя отходов полигона ТБО №1

По результатам исследований на эксплуатируемых участках полигона были выявлены обширные площади с высокой концентрацией метана (60 % об. и более) и, соответственно, с существенным энергетическим потенциалом. Это определило целесообразность создания системы сбора биогаза, ввод в эксплуатацию которой намечен на ближайшее время.

При отборе проб на полигоне ТБО №2 средняя температура воздуха составляла +5 °С. Измерения выполнялись в 49 доступных точках с шагом не более 50 м (рис. 4).

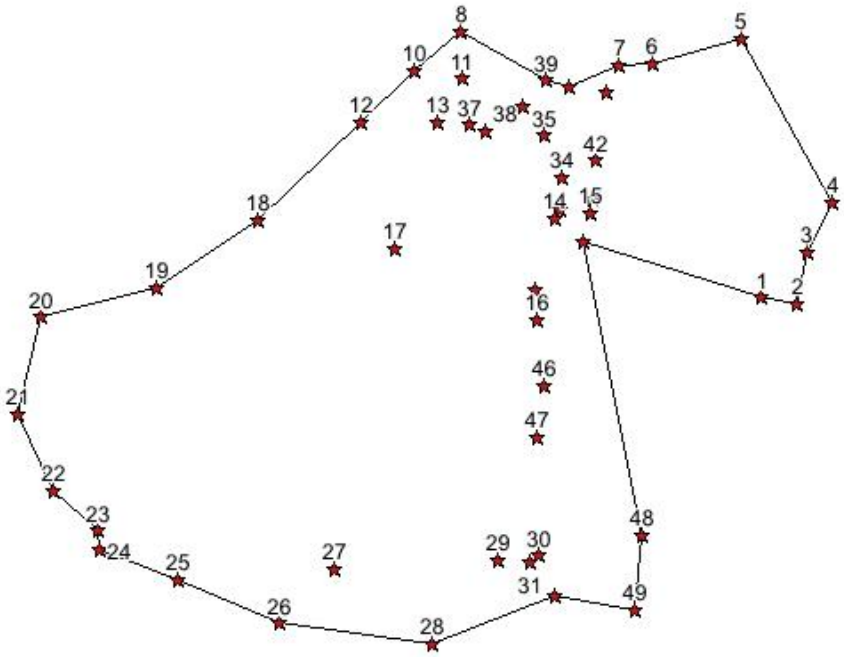


Рисунок 4. Расположение точек отбора проб на теле полигона №2

По результатам исследований состава биогаза были выявлены участки с высокой концентрацией метана (50 % об. и более) (рис. 5) и определен участок, перспективный для создания газосборной системы. К преимуществам его освоения можно отнести отсутствие в пробах монооксида углерода, а также относительно низкие концентрации сероводорода, не более 200 ppm.

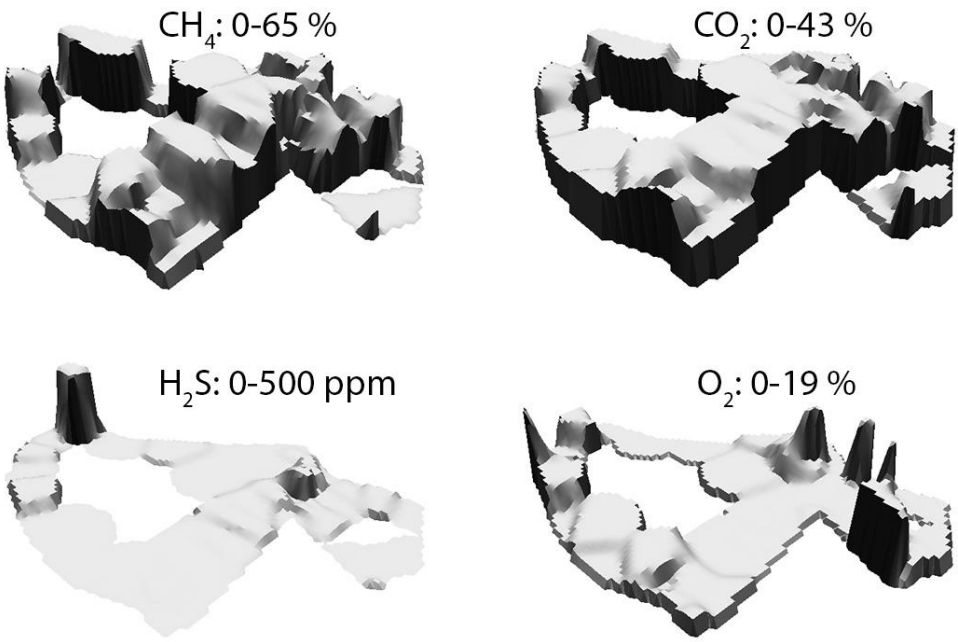


Рисунок 5. Трехмерные карты содержания метана, углекислого газа, сероводорода и кислорода в газе поверхностного слоя отходов полигона ТБО №2

При отборе проб на полигоне ТБО №3 средняя температура воздуха составляла +2 °С. Измерения выполнялись в 24 доступных точках с шагом не более 50 м (рис. 6).

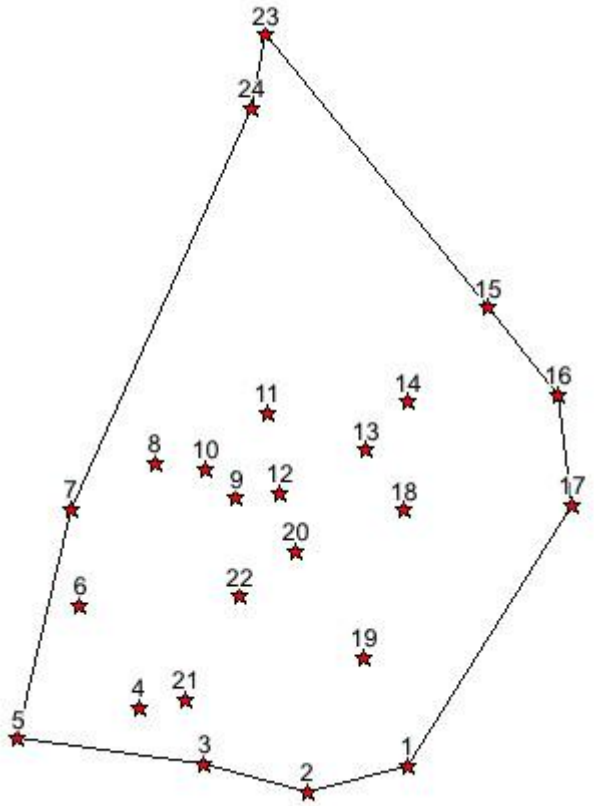


Рисунок 6. Расположение точек отбора проб на теле полигона №3

По результатам измерений концентраций компонентов биогаза был выявлен участок с высокой концентрацией метана (50 % об. и более) (рис. 7). На нем зафиксировано отсутствие монооксида углерода, и лишь в отдельных точках наблюдаются низкие концентрации сероводорода, до 30 ppm.

Анализ полученных данных показал, что на полигонах ТБО №2 и №3 участки возгорания отходов примыкают к участкам с высоким содержанием метана.

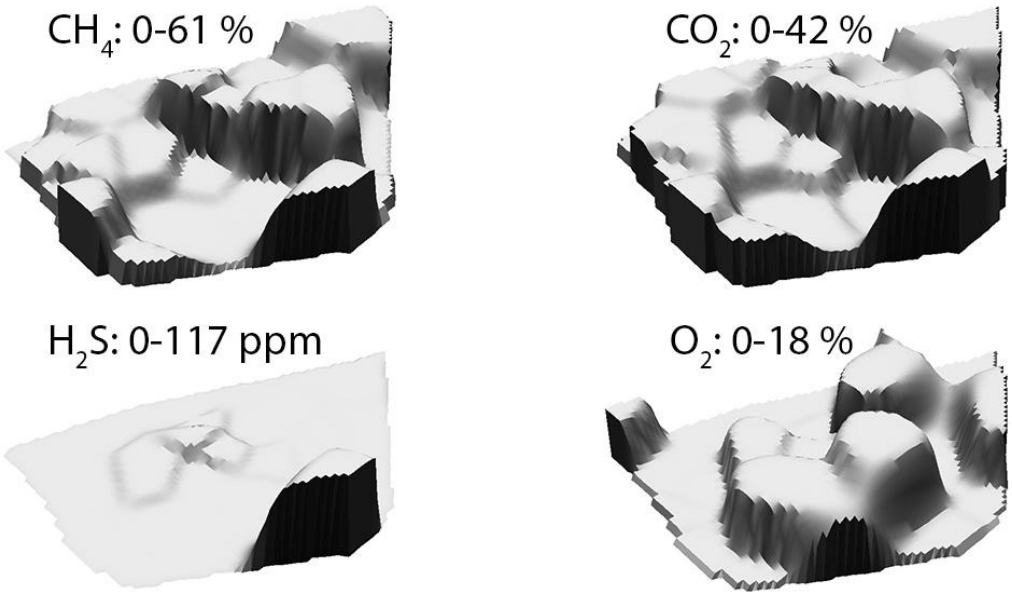


Рисунок 7. Трехмерные карты содержания метана, углекислого газа, сероводорода и кислорода в газе поверхностного слоя отходов полигона ТБО №3

Таким образом, было установлено, что на обширных участках исследуемых полигонов, расположенных в регионах с холодным климатом, наблюдаются выбросы биогаза с высоким содержанием метана.

Выше было отмечено, что следующим этапом исследований является определение удельной и общей эмиссии биогаза на исследуемых участках с использованием газоуловителя в виде специального бокса. Реализация данного метода требует постоянного присутствия специалистов при проведении соответствующих измерений в течение относительно длительного времени, которое в зависимости от интенсивности газовой эмиссии в месте отбора проб может составлять от нескольких десятков минут до нескольких часов. В течение этого периода возможно негативное влияние содержащихся в биогазе вредных примесей на здоровье людей. Возникает задача сокращения до минимума пребывания людей в зоне установки оборудования, которая может быть решена путем создания автоматизированного комплекса с дистанционным управлением для измерения газовых эмиссий. За рубежом проводятся работы по созданию опытных образцов самоходных мобильных роботов для мониторинга газовых эмиссий, позволяющих осуществлять требуемые повторяющиеся процедуры измерений с гораздо более плотной пространственно-временной детализацией по сравнению с полностью ручными измерениями [36, 37].

Состояние многих российских полигонов (рис. 8) не позволяет полноценно применять подобные системы, поэтому предлагается использовать автоматизированный модуль для измерения газовых потоков камерным методом с поверхности тела полигона. Транспортировка и установка модуля на точку контроля осуществляется специалистом, что позволяет устанавливать ее в труднодоступных местах, но при этом получать необходимые данные, сводя к минимуму нахождение человека в опасной зоне.

Рисунок 8. Внешний вид действующего полигона ТБО

Модуль оснащается высокоточным газоанализатором метана, датчиками давления, температуры, скорости ветра и др., программируемым устройством управления с возможностью дистанционного контроля. В настоящее время оборудование проходит лабораторные испытания.

Заключение

1. Рассмотренная методика проведения газогеохимической съемки была согласована с проектными организациями, заинтересованными в использовании энергетического потенциала полигонов, и успешно применена на ряде объектов для получения информации о составе биогаза, пространственном распределении его основных компонентов на различных участках захоронения с целью районирования территории полигона по величине концентрации метана в биогазе и создания эффективных систем дегазации.

2. По результатам проведенных исследований определено, что биохимические процессы разложения отходов могут активно протекать в условиях холодного климата, что характеризуется выделением биогаза с высокой концентрацией метана (50 % об. и более). Это подтверждает возможность использования биогазового потенциала таких полигонов для нужд тепло- и электроснабжения местных потребителей. На основе полученных данных был выполнен проект создания системы сбора и использования биогаза на одном из полигонов с получением тепловой и электрической энергии. В настоящее время там проводятся строительно-монтажные работы.

3. Исследования, проведенные на полигонах, показали, что участки возгорания отходов примыкают к участкам с высоким содержанием метана, выделение которого может являться основной причиной происходящих пожаров. Для снижения риска возникновения пожаров на полигонах необходимо проведение работ по дегазации газопродуктивных участков.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году» Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/6c7/gosdokladeco.pdf (дата обращения 15.09.2015).
2. Отходы в России: Мусор или ценный ресурс? Сценарии развития сектора обращения с твердыми коммунальными отходами. Отчет Международной финансовой корпорацией (IFC, Группа Всемирного банка). [Электронный ресурс]. URL: http://tpprf.ru/download.php?GET=6LPAY%2F81BmxXbFDr7vGx5g%3D%3D (дата обращения 15.09.2015).
3. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Basisdaten Bioenergie Deutschland. August 2013. [Электронный ресурс]. URL: http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/FNR-Basisdaten-Bioenergie-2013.pdf?__blob=publicationFile (дата обращения: 15.09.2015).
4. Федоров М.П., Масликов В.И. Проблемы утилизации бытовых отходов в условиях северных регионов // Наука и технологии для устойчивого развития северных регионов: Междунар. научн.-практ. конф. Санкт-Петербург, 23 апреля 2003 г. СПб.: Изд-во БАН. 2003. С. 197–200.
5. Хилимонюк В.З., Брушков А.В., Гребенкин С.И. Эколого-геологические проблемы приарктических территорий и возможные пути их решения [Электронный ресурс]. URL: http://istina.msu.ru/media/publications/articles/c28/2cc/2028638/Environmental__probles_of_Arctic_areas_and_possible_solutions.pdf (дата обращения 15.09.2015).
6. Ключникова Е.М., Маслобоев В.А. Эколого-экономический анализ региональной политики в сфере обращения с отходами (на примере Мурманской области) // Вестник МГТУ. 2013. Том 16. №2. С. 233–241.
7. Безруких П.П., Дегтярев В.В., Елистратов В.В. [и др.] Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). М.: ИАЦ Энергия. 2007. 272 с.

References

1. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2013 godu» Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii [The state report "On the state and Environmental Protection of the Russian Federation in 2013" of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation].* Available at: https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/6c7/gosdokladeco.pdf (Accessed 15.09.2015). (rus)
2. *Otkhody v Rossii: Musor ili tsennyy resurs? Stsenarii razvitiya sektora obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi otkhodami* [Wastes in Russia: Rubbish or a valuable resource? Development scenarios for the sector of municipal solid waste]. The report of International Finance Corporation. World Bank Group. Available at: http://tpprf.ru/download.php?GET=6LPAY%2F81BmxXbFDr7vGx5g%3D%3D (Accessed 15.09.2015). (rus)
3. *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Basisdaten Bioenergie Deutschland.* August 2013. Available at: http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/FNR-Basisdaten-Bioenergie-2013.pdf?__blob=publicationFile (Accessed 15.09.2015).
4. Fedorov M.P., Maslikov V.I. Problemy utilizatsii bytovykh otkhodov v usloviyakh severnykh regionov [Problems of recycling of municipal solid waste in conditions of northern regions]. *Science and Technologies for Sustainable Development of the Northern regions: Intern. scien.-pract. Conf., St.-Petersburg, 23 April 2003*. Saint-Petersburg: BAN, 2003. Pp. 197–200. (rus)
5. Khilimonyuk V.Z., Brushkov A.V., Grebenkin S.I. *Ekologo-geologicheskie problemy priarkticheskikh territoriy i vozmozhnye puti ikh resheniya* [Ecological and geological problems of the Subarctic areas and possible solutions]. Available at: http://istina.msu.ru/media/publications/articles/c28/2cc/2028638/Environmental__probles_of_Arctic_areas_and_possible_solutions.pdf (Accessed 15.09.2015). (rus)
6. Klyuchnikova E.M., Masloboev V.A. Ekologo-ekonomicheskiy analiz regional'noy politiki v sfere obrashcheniya s otkhodami (na primere Murmanskoy oblasti) [The ecological and economic analysis of the regional policy in the field of waste management (on the example of the Murmansk region)]. *Vestnik of MSTU*. 2013.

8. Флоринская Т.М. Экологическая безопасность Северо-Западного региона [Электронный ресурс]. URL: http://www.spbrc.nw.ru/ru/councils/ecology/publications/eco_safety (дата обращения 15.09.2015).
9. Долгосрочная целевая инвестиционная программа обращения с твёрдыми бытовыми и промышленными отходами в Санкт-Петербурге на 2012–2020 годы. Раздел 1. Анализ существующей системы обращения с твердыми бытовыми и промышленными отходами в Санкт-Петербурге. [Электронный ресурс]. URL: http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/toxics/recycle/LIP-part1.pdf (дата обращения 15.09.2015).
10. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. №6(50). С. 67–74.
11. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Экономическая очистка поверхностного стока в крупных городах // Евростройпрофи. 2015. №78. С. 48–52.
12. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Условия образования и очистка фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. 2003. 167 с.
13. Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Петров В.Н. и др. Управление отходами. Полигоны захоронения ТБО: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. 2007. 463 с.
14. Госстрой России. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. 2003. 27 с.
15. National Renewable Energy Laboratory. Energy Analysis. Biogas Potential in the United States. [Электронный ресурс]. URL: http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60178.pdf (дата обращения: 15.09.2015).
16. Glover B. Biogas Capture and Utilization: An Effective, Affordable Way to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Meet Local Energy Needs. [Электронный ресурс]. URL: http://www.eesi.org/files/biogas_issuebrief_061609.pdf (дата обращения: 15.09.2015).
17. Jaramillo P., Matthews H.S. Landfill-Gas-to-Energy Projects: Analysis of Net Private and Social Benefits. // Environmental science & technology. 2005. Vol. 39. №19. Pp. 7365–7373.
18. Shanjun Li, Han Kyul Yoo, Macauley M. [et al.] Assessing the role of renewable energy policies in landfill gas to energy projects // Energy Economics. 2015. Vol. 49. Pp. 687–697.
19. Федоров М.П., Зинченко А.В., Кораблев В.В. и др. Энергетическое использование эмиссии метана на полигоне твердых бытовых отходов Санкт-Петербурга для сокращения парниковых выбросов и привлечения инвестиций в рекультивацию // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2008. №6(70). С. 135−142.
20. Метан со свалок ТБО. Федеральное агентство по науке и инновациям. М.: РУСДЕМ-Энергоэффект.2009. 80 с.
21. Масликов В.И., Чусов А.Н., Молодцов Д.В., Рыжакова М.Г. Зональное определение эмиссий биогаза на полигоне ТБО для оценки геоэкологического состояния и обоснования управления процессами разложения отходов при рекультивации // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. №2-1(147). С. 260–265.
22. Федоров М.П., Кораблев В.В., Масликов В.И., Иокша Е.О. Аудит для «углеродных» инвестиций в энергетическое использование полигонов твердых бытовых отходов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 44 с.

Vol. 16. No. 2. Pp. 233–241. (rus)

7. Bezrukikh P.P., Degtyarev V.V. Elistratov V.V. et al. *Spravochnik po resursam vozobnovliaemyh istochnikov energii Rossii i mestnym vidam topliva (pokazateli po territoriiam)* [Guide to renewable energy resources in Russia and local fuels (indicators for the territories)]. Moscow: Energiya. 2007. 272 p. (rus)
8. Florinskaya T.M. *Ekologicheskaya bezopasnost' Severo-Zapadnogo regiona* [Environmental safety of North-West region]. Available at: http://www.spbrc.nw.ru/ru/councils/ecology/publications/eco_safety (Accessed 15.09.2015). (rus)
9. *Dolgosrochnaya tselevaya investitsionnaya programma obrashcheniya s tvyerdymi bytovymi i promyshlennymi otkhodami v Sankt-Peterburge na 2012 – 2020 gody. Razdel 1. Analiz sushchestvuyushchey sistemy obrashcheniya s tverdymi bytovymi i promyshlennymi otkhodami v Sankt-Peterburge* [The long-term target investment program for the treatment of municipal solid and industrial waste in St.-Petersburg on 2012 – 2020 years. Section 1. The analysis of the existing treatment system of municipal solid and industrial wastes in St.-Petersburg]. Available at: http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/toxics/recycle/LIP-part1.pdf (Accessed 15.09.2015). (rus)
10. Chechevichkin V.N., Vatin N.I. Osobennosti sostava i ochistki poverkhnostnogo stoka krupnykh gorodov [Specifics of surface runoff contents and treatment in large cities]. *Magazine of Civil Engineering.* 2014. No. 6(50). Pp. 67–74. (rus)
11. Chechevichkin V.N. Vatin N.I. Ekonomicheskaya ochistka poverkhnostnogo stoka v krupnykh gorodakh [The economic treatment of surface runoff in big cities]. *Evrostroyprofi*. 2015. No. 78. Pp. 48–52. (rus)
12. Vaysman Ya.I., Glushankova I.S. *Usloviya obrazovaniya i ochistka fil'tratsionnykh vod poligonov zakhoroneniya TBO: ucheb. posobie* [Treatment and conditions of formation of leachate of municipal solid waste landfills: study guide]. Perm. Perm State Technical University Publishing House. 2003. 167 p. (rus)
13. Vaysman Ya.I., Korotaev V.N., Petrov V.N. et al. *Upravlenie otkhodami. Poligony zakhoroneniya TBO: ucheb. Posobie* [Waste management. MSW landfills: study guide]. Perm. Perm State Technical University Publishing House. 2007. 463 p. (rus)
14. *Gosstroy Rossii. Rekomendatsii po raschetu obrazovaniya biogaza i vyboru sistem degazatsii poligonov zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov* [Gosstroy of Russia. Guidelines for the calculation of biogas production and for the choice of degassing systems for municipal solid waste landfills]. Perm. Perm State Technical University Publishing House. 2003. 27 p. (rus)
15. *National Renewable Energy Laboratory. Energy Analysis. Biogas Potential in the United States.* Available at: http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60178.pdf (Accessed 15.09.2015).
16. Glover B. *Biogas Capture and Utilization: An Effective, Affordable Way to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Meet Local Energy Needs.* Available at: http://www.eesi.org/files/biogas_issuebrief_061609.pdf (Accessed 15.09.2015).
17. Jaramillo P., Matthews H.S. Landfill-Gas-to-Energy Projects: Analysis of Net Private and Social Benefits. *Environmental science & technology.* 2005. Vol. 39. No. 19. Pp. 7365–7373.
18. Shanjun Li, Han Kyul Yoo, Macauley M. et al. Assessing the role of renewable energy policies in landfill gas to energy projects. *Energy Economics.* 2015. Vol. 49. Pp. 687–697.
19. Fedorov M.P., Zinchenko A.V., Korablev V.V. et al. Energeticheskoye ispolzovaniye emissii metana na poligone tverdykh bytovykh otkhodov Sankt-Peterburga

23. Kröger K. Deponiegas. [Электронный ресурс]. URL: http://www.dmskroeger.de/Deponieentgasung.pdf (дата обращения: 15.09.2015).
24. Федоров М.П., Кораблев В.В., Масликов В.И., Иокша Е.О. «Углеродные» инвестиции в энергетическое использование полигонов ТБО. Опыт Санкт-Петербурга по утилизации свалочного биогаза // Экология и жизнь. 2008. №4(77). С. 16–22.
25. Масликов В.И., Чусов А.Н., Негуляева Е.Ю., Черемисин А.В., Молодцов Д.В. Лабораторные исследования разложения отходов в биореакторах для оценки биогазового потенциала и выбора мероприятий по рекультивации полигонов ТБО // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. №2-2(147). С. 229–235.
26. Di Trapani D., Di Bella G., Viviani G. Uncontrolled methane emissions from a MSW landfill surface: Influence of landfill features and side slopes // Waste Management. 2013. Vol. 33. No. 10. Pp. 2108–2115.
27. Rettenberger G. Die Bedeutung der Methan-, Kohlendioxid- und HKW-Emissionen von Deponien für die Atmosphäre. / Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 2, Deponiegasnutzung. Economica-Verlag. Bonn. 1991. Pp. 9–25.
28. Chiemchaisri C., Visvanathan C. Greenhouse Gas Emission Potential of the Municipal Solid Waste Disposal Sites in Thailand // Journal of the Air & Waste Management Association. 2008. Vol. 58. Issue 5. Pp. 629–635.
29. Niemczewska J. Metodyka pomiarów emisji gazów ze składowisk odpadów komunalnych // Nafta-Gaz. 2013. №8. Pp. 613–618.
30. Biszek M., Pawłowska M., Czerwiński J. Evaluation of measurement methods and estimation of biogas emission from landfills. Rocznik Ochrona Środowiska. 2006. №8. Pp. 27–43.
31. Meyvantsdóttir G. Methane emissions from Icelandic landfills. 2014. [Электронный ресурс]. URL:http://skemman.is/stream/get/1946/18690/44639/1/GudrunMeyvantsdottir_MScRitgerd_CH4_2014.pdf (дата обращения: 15.05.2015)
32. Johnsson E., Correlation between Methane concentration and emission from old landfills in Sweden. 2010. [Электронный ресурс]. URL: https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=1789646&fileOId=1789665 (дата обращения: 01.06.2015)
33. Ritzkowski M., Adwiraah H., Wu W., Stegmann R., Characterization of landfills in Central Asia by means of site investigations and landfill simulation in laboratory bioreactors // Geotechnical Special Publication. 2008. Issue 177. Pp. 136–143.
34. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология.
35. Чусов А.Н., Масликов В.И., Молодцов Д.В. Исследования состава биогаза на полигоне твердых бытовых отходов // Безопасность в техносфере. 2013. № 6 (45). С. 24–28.
36. Bennetts V.H., Lilienthal A.J., Neumann P.P., Trincavelli M. Mobile robots for localizing gas emission sources on landfill sites: is bio-inspiration the way to go? // Frontiers in Neuroengineering. 2012. Vol. 4. doi: 10.3389/fneng.2011.00020.
37. Beirne S., Kiernan B.M., Fay C et al. Autonomous greenhouse gas measurement system for analysis of gas migration on landfill sites // 2010 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) – Proceedings. 2010. Pp. 143–148.

dlya sokrashcheniya parnikovykh vybrosov i privlecheniya investitsiy v rekultivatsiyu [The energy usage of methane emissions from a municipal solid waste landfill in St. Petersburg to reduce greenhouse gas emissions and attracting investment in recultivation]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2008. No. 6(70). Pp. 135–142. (rus)

20. *Metan so svalok TBO* [Methane from MSW landfills]. The Russian Federal Agency for Science and Innovation. Moscow: RUSDEM. 2009. 80 p. (rus)
21. Maslikov V.I., Chusov A.N., Molodtsov D.V., Ryzhakova M.G. Zonalnoye opredeleniye emissiy biogaza na poligone TBO dlya otsenki geoekologicheskogo sostoyaniya i obosnovaniya upravleniya protsessami razlozheniya otkhodov pri rekultivatsii [The area based determination of biogas emission from MSW landfill for the geoecological conditions assessment and substantiation of management of waste decomposition in the process of recultivation]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal.* 2012. No. 2-1(147). Pp. 260–265. (rus)
22. Fedorov M.P., Korablev V.V., Maslikov V.I., Ioksha E.O. *Audit dlya "uglerodnykh" investitsiy v energeticheskoe ispol'zovanie poligonov tverdykh bytovykh otkhodov* [The audit for "carbon" investments in the energy use of municipal solid waste landfills]. St.-Petersburg: St. Petersburg State Polytechnical University Publishing House. 2007. 44 p. (rus)
23. *Kröger K. Deponiegas.* Available at: http://www.dmskroeger.de/Deponieentgasung.pdf (Accessed 15.09.2015).
24. Fedorov M.P., Korablev V.V., Maslikov V.I., Ioksha E.O. “Uglerodnye” investitsii v energeticheskoe ispol'zovanie poligonov TBO [“Carbonic” investments into energy use of MSW landfills]. *Ecology & Life*. 2008. No. 4(77). Pp. 16–22. (rus)
25. Maslikov V.I., Chusov A.N., Negulyaeva E.Yu., Cheremisin A.V., Molodtsov D.V. Laboratornyye issledovaniya razlozheniya otkhodov v bioreaktorakh dlya otsenki biogazovogo potentsiala i vybora meropriyatiy po rekultivatsii poligonov TBO [Laboratory research of waste decomposing in bioreactors for assessment of biogas potential and choice of measures for aftercare phase]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2012. No. 2-2(147). Pp. 229–235. (rus)
26. Di Trapani D., Di Bella G., Viviani G. Uncontrolled methane emissions from a MSW landfill surface: Influence of landfill features and side slopes. *Waste Management*. 2013. Vol. 33. No. 10. Pp. 2108–2115.
27. Rettenberger G. Die Bedeutung der Methan-, Kohlendioxid- und HKW-Emissionen von Deponien für die Atmosphäre. *Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 2.* Deponiegasnutzung, Economica-Verlag. Bonn. 1991. Pp. 9–25.
28. Chiemchaisri C., Visvanathan C. Greenhouse Gas Emission Potential of the Municipal Solid Waste Disposal Sites in Thailand. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2008. Vol. 58, Issue 5. Pp. 629–635.
29. Niemczewska J. Metodyka pomiarów emisji gazów ze składowisk odpadów komunalnych. *Nafta-Gaz.* 2013. No. 8. Pp. 613–618.
30. Biszek M., Pawłowska M., Czerwiński J. Evaluation of measurement methods and estimation of biogas emission from landfills. *Rocznik Ochrona Środowisk.* 2006. No. 8. Pp. 27–43.
31. Meyvantsdóttir G. *Methane emissions from Icelandic landfills.* 2014. Available at: http://skemman.is/stream/get/1946/18690/44639/1/Gudrun Meyvantsdottir_MScRitgerd_CH4_2014.pdf (Accessed 15.05.2015).
32. Johnsson E. *Correlation between Methane concentration and emission from old landfills in Sweden.* 2010. Available at: https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&

recordOld=1789646&fileOld=1789665 (Accessed 01.06.2015).

33. Ritzkowski M., Adwiraah H., Wu W., Stegmann R. Characterization of landfills in Central Asia by means of site investigations and landfill simulation in laboratory bioreactors. *Geotechnical Special Publication*. 2008. Issue 177. Pp. 136–143.
34. SNiP 23-01-99*. Stroitel'naya klimatologiya [RUssian Building Codes 23-01-99*. Construction climatology]. (rus)
35. Chusov A.N., Maslikov V.I., Molodtsov D.V. Researches of Biogas Composition on Landfill. *Safety in Technosphere.* 2013. No. 6(45). Pp. 24–28. (rus)
36. Bennetts V.H., Lilienthal A.J., Neumann P.P., Trincavelli M. Mobile robots for localizing gas emission sources on landfill sites: is bio-inspiration the way to go? *Frontiers in Neuroengineering*. 2012. Vol. 4. doi: 10.3389/fneng. 2011.00020.
37. Beirne S., Kiernan B.M., Fay C et al. Autonomous greenhouse gas measurement system for analysis of gas migration on landfill sites. *2010 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) – Proceedings*. 2010. Pp. 143–148.

Александр Николаевич Чусов,
+78122975928; эл. почта: chusov17@mail.ru

Владимир Иванович Масликов,
+78122975928; эл. почта: vmaslikov@list.ru

Дмитрий Владиславович Молодцов,
+79052152066; эл. почта: kovu@bigcats.ru

Вячеслав Владимирович Жажков,
+79117419141; эл. почта: zhazhkov@gmail.com

Олег Алимович Рябухин,
+79602363774; эл. почта: pulya_007@hotmail.com

Alexander Chusov,
+78122975928; chusov17@mail.ru

Vladimir Maslikov,
+78122975928; vmaslikov@list.ru

Dmitry Molodtsov,
+79052152066; kovu@bigcats.ru

Viacheslav Zhazhkov,
+79117419141; zhazhkov@gmail.com

Oleg Riabuokhin,
+79602363774; pulya_007@hotmail.com

© Чусов А.Н., Масликов В.И., Молодцов Д.В., Жажков В.В., Рябухин О.А., 2015

Требования к материалам, представляемым к публикации

Материалы принимаются только через систему электронной редакции журналов СПбГПУ. Авторам необходимо зарегистрироваться в системе (http://journals.spbstu.ru/) и подать статью через нее, предварительно ознакомившись с нижеприведенными требованиями и условиями опубликования. Публикация в журнале бесплатна для авторов.

Этические нормы и авторские права

Подавая статью в журнал, автор соглашается на условия лицензионного договора, в частности, на то, что все статьи без исключения публикуются в открытом доступе на сайте журнала и в Научной электронной библиотеке России. Также автор подтверждает, что статья является оригинальной, ранее не опубликованной, содержит только проверенные и точные данные; любые данные, полученные не автором, имеют соответствующие ссылки на источник.

Тематика статей

В «Инженерно-строительном журнале» публикуются оригинальные, ранее не опубликованные статьи, содержащие полученные авторами новые научные результаты, по тематике «Строительство». Статьи принимаются в тот или иной номер в соответствии с тематикой на текущее полугодие.

№	Дата выхода	Срок подачи материалов	Тема номера
7(59)	16.11.2015	09.10.2015	Строительные материалы и изделия. Технология и организация строительства
8(60)	21.12.2015	13.11.2015	Ограждающие конструкции. Энергоэффективность зданий
1(61)	12.02.2015	25.12.2014	Строительные конструкции. Строительная механика
2(62)	01.04.2015	19.02.2015	Технология и организация строительства. Строительные материалы и изделия

Структура и содержание статей

Обязательны следующие элементы статьи: введение, включающее обзор иностранной и отечественной литературы и постановку задачи; основная часть (описание исследования); заключение, включающее нумерованные выводы; список литературы; источник финансирования (если есть).

Технические требования к статьям

Статьи подаются в формате docx (MS Word 2007–2013). Файл статьи, подаваемый через электронную редакцию, должен содержать только сам текст, без названия, списка литературы, фамилий и данных авторов. Все эти поля заполняются отдельно при подаче через электронную редакцию.

Рекомендуемый объем статей: от 15000 до 30000 знаков с пробелами. Таблицы выполняются средствами Word (не рисунками) и располагаются внутри текста статьи. Иллюстрации должны быть представлены в отдельных графических файлах (один рисунок – один файл). Допустимые форматы: JPEG, TIFF, BMP. В текстовый файл иллюстрации можно вставить для обозначения рекомендуемого места их использования.

Список литературы на русском языке должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.0.5-2008. Цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания. Порядковый номер в тексте заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка литературы. Также к статье прилагается список литературы на латинице, оформленный в соответствии с инструкцией по транслитерации списка литературы, размещенной на сайте издания.

Аннотация к статье

В журнал подается расширенная аннотация на двух языках: русском и английском. Особое внимание следует уделить аннотации на английском языке (если статья на русском). Аннотация должна повторять структуру статьи: актуальность, цель, методика, результаты, выводы. Аннотация должна содержать от 100 до 250 слов.

Подробные требования к статьям см. на сайте журнала:
http://www.engstroy.spb.ru/autors.html

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Инженерно-строительный институт
Центр дополнительных профессиональных программ

195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,
тел/факс: 552-94-60, www.stroikursi.spbstu.ru,
stroikursi@mail.ru

Приглашает специалистов проектных и строительных организаций,
не имеющих базового профильного высшего образования
на курсы профессиональной переподготовки (от 500 часов)
по направлению «Строительство» по программам:

П-01 «Промышленное и гражданское строительство»
Программа включает учебные разделы:
• ***Основы строительного дела*** • ***Инженерное оборудование зданий и сооружений*** • ***Технология и контроль качества строительства*** • ***Основы проектирования зданий и сооружений*** • ***Автоматизация проектных работ с использованием AutoCAD*** • ***Автоматизация сметного дела в строительстве*** • ***Управление строительной организацией*** • ***Управление инвестиционно-строительными проектами. Выполнение функций технического заказчика***
П-02 «Экономика и управление в строительстве»
Программа включает учебные разделы:
• ***Основы строительного дела*** • ***Инженерное оборудование зданий и сооружений*** • ***Технология и контроль качества строительства*** • ***Управление инвестиционно-строительными проектами. Выполнение функций технического заказчика и генерального подрядчика*** • ***Управление строительной организацией*** • ***Экономика и ценообразование в строительстве*** • ***Управление строительной организацией*** • ***Организация, управление и планирование в строительстве*** • ***Автоматизация сметного дела в строительстве***
П-03 «Инженерные системы зданий и сооружений»
Программа включает учебные разделы:
• ***Основы механики жидкости и газа*** • ***Инженерное оборудование зданий и сооружений*** • ***Проектирование, монтаж и эксплуатация систем вентиляции и кондиционирования*** • ***Проектирование, монтаж и эксплуатация систем отопления и теплоснабжения*** • ***Проектирование, монтаж и эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения*** • ***Автоматизация проектных работ с использованием AutoCAD*** • ***Электроснабжение и электрооборудование объектов***
П-04 «Проектирование и конструирование зданий и сооружений»
Программа включает учебные разделы:
• ***Основы сопротивления материалов и механики стержневых систем*** • ***Проектирование и расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений*** • ***Проектирование и расчет железобетонных конструкций*** • ***Проектирование и расчет металлических конструкций*** • ***Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD*** • ***Расчет строительных конструкций с использованием SCAD Office***
П-05 «Контроль качества строительства»
Программа включает учебные разделы:
• ***Основы строительного дела*** • ***Инженерное оборудование зданий и сооружений*** • ***Технология и контроль качества строительства*** • ***Проектирование и расчет железобетонных конструкций*** • ***Проектирование и расчет металлических конструкций*** • ***Обследование строительных конструкций зданий и сооружений*** • ***Выполнение функций технического заказчика и генерального подрядчика***

По окончании курса слушателю выдается диплом о профессиональной переподготовке установленного образца, дающий право на ведение профессиональной деятельности