МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

***IV* открытая международная очно-заочная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов**

«ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Электронный сборник статей по материалам IV открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов

(17 марта 2023 г., Макеевка)

Макеевка, 2023 г.

УДК 696/697.004.163(063)
ББК 38.7-03я43
Э 65

Печатается по решению ученого совета ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», протокол № 10 от 24.04.2023 г.

Редакционная коллегия:

Мущанов В. Ф.	- проректор по научной работе, д.т.н., профессор, председатель оргкомитета;
Лукьянов А. В.	- декан факультета инженерных и экологических систем в строительстве, д.т.н., профессор;
Яковенко К. А.	- заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства, к.т.н., доцент;
Найманов А. Я	-д.т.н., профессор кафедры городского строительства и хозяйства;
Удовиченко З. В.	- к.т.н., доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;
Олексюк А. А.	- д.т.н., профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции;

Э65 Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений: электронный сборник научных трудов IV открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов / Редколлегия: В. Ф. Мущанов, А. В. Лукьянов, В. И. Нездойминов и др. - Макеевка, ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2023. - 191 с.

Электронный сборник содержит 39 научных работ участников IV открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений». Материалы представлены по таким тематическим направлениям: «Энергоресурсосбережение», «Инженерная инфраструктура городов», «Надежность систем ТГВ и безопасности их эксплуатации», «Инновации в инженерных сетях: отопления, газоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха».

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, молодым ученым и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки по рассматриваемым тематическим направлениям.

Научное электронное издание

Авторы научных статей несут ответственность за оригинальность текстов, а также достоверность изложенных фактов и положений.

© ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2023

УДК 697

Андрийчук Владислав Николаевич,
старший преподаватель кафедры
вентиляции, теплогазо- и водоснабжения;
Шевцова Татьяна Евгеньевна,
аспирант кафедры
вентиляции, теплогазо- и водоснабжения;
Соколов Владимир Ильич,
доктор технических наук,
профессор каф.
вентиляции, теплогазо- и водоснабжения,
ИСА и ЖКХ ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Работа посвящена вопросу повышения эффективности вентиляционных систем совершенствованием процессов регулирования на основе адаптивного прогнозирующего управления. Исследование процессов регулирования с использованием MPC-регулятора проведено на примере приточной вентиляционной системы VAV учебной аудитории в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха. Для моделирования системы в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, для синтеза MPC-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox. Проведено исследование переходных процессов в вентиляционной системе VAV без регулятора, с ПИД-регулятором и MPC-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование MPC-регулятора позволяет усовершенствовать процессы регулирования за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает качество регулирования и эффективность вентиляционных систем.

Ключевые слова: вентиляционная система VAV, прогнозирующая модель, MPC-регулятор, горизонт прогнозирования, горизонт управления, переходной процесс.

Вентиляционные системы являются составной частью любого здания или сооружения, которые поддерживают состояние воздушной среды, благоприятной для пребывания в них человека и выполнения технологических процессов [1-3]. Для эффективного управления системами вентиляции необходимо вести оперативный контроль параметров микроклимата и состояния параметров исполнительных механизмов, а также формировать разные режимы работы оборудования в соответствии с внешними и внутренними факторами (температура и влажность воздуха, загруженность помещений, концентрация вредных веществ) [3-5]. Чаще всего, такое задание возникает в переходной период, когда диапазон изменения температуры варьируется в больших границах.

Доля затрат на проектирование и установку вентиляционных систем может составлять 10-15% от стоимости сооружений, а эксплуатационные расходы в ряде случаев достигают половины затрат от общих. Поэтому, при разработке вентиляционных систем особое внимание уделяется их эксплуатационным характеристикам и, прежде всего, энергетической эффективности при соблюдении требований точности контролируемых параметров микроклимата. В этой связи, в настоящее время для поддержания тепловых режимов в зданиях и сооружениях получили распространение вентиляционные системы VAV с переменным расходом воздуха (Variable Air Volume – переменный объем воздуха) [6, 7]. Такие системы

работают в режиме переменного количества подаваемого воздуха, а изменения тепловой нагрузки помещений или зон компенсируются путем изменения фактического количества приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, поступающего от центральной приточной установки. Поэтому вентиляционная система VAV работает при общем расходе воздуха меньшем, чем необходимо в случае суммарной максимальной тепловой нагрузки для каждого отдельного помещения или зоны. Это обеспечивает уменьшение энергетических затрат при заданных параметрах воздуха внутри помещений. Снижение потребления энергии может достигать 25% и более в сравнении с вентиляционными системами, работающими при постоянном расходе воздуха.

Для улучшения эксплуатационных характеристик вентиляционных систем важным является правильное построение автоматизированных систем управления микроклиматом. Развитие микропроцессорной техники позволяет в режиме реального времени использовать для решения задач управления сложными нелинейными объектами походы, основанные на математических методах оптимизации, одним из которых является управление на основе прогнозирующих моделей (Model Predictive Control – MPC) с MPC-регулятором [1, 3, 7]. Идея адаптивного прогнозирующего управления заключается в нахождении оптимальной последовательности управляющих воздействий, которые устанавливаются MPC-регулятором и обеспечивают наилучшую траекторию изменения выходного параметра на определенном горизонте прогнозирования.

Целью работы является повышение эффективности вентиляционных систем совершенствованием процессов регулирования основе адаптивного прогнозирующего управления.

Для проведения исследований рассмотрим особенности построения вентиляционных систем VAV, а также принципы управления на основе MPC-подхода. Главным элементом вентиляционной системы VAV является терминал VAV, который также называют регулятором VAV или клапаном VAV. Назначением терминала VAV является поддержание заданного расхода приточного или вытяжного воздуха, необходимая величина которого определяется значением внешнего управляющего сигнала (воздействия. Этот сигнал может поступать на терминал VAV от установленных в помещениях здания температурных регуляторов, датчиков CO_2, датчиков движения, реле времени и других элементов, а также от устройства управления как части системы автоматизированного управления микроклиматом в здании или отдельном помещении. На измерительных элементах терминала VAV (трубка Пито и пьезометр), расположенных в вентиляционном канале, возникает перепад давлений, величина которого зависит от расхода (скорости) воздуха и устанавливается измерительным преобразователем. По значению измеренного перепада давлений и площади поперечного сечения канала определяется фактический расход воздуха, величина которого сравнивается с заданным. Исходя из рассогласования, формируется сигнал для управления электроприводом, который изменяет положение дроссельной заслонки, что приводит к изменению аэродинамического сопротивления терминала и, следовательно, изменению фактического расхода воздуха.

Для наглядности реализации MPC-подхода рассмотрим вентиляционную систему как одномерную систему, т.е. рассматриваем ее как объект управления (ОУ) с одной выходной величиной y. Также считаем, что система автоматического управления (САУ) воспринимает одно задающее воздействие g и одно возмущающее воздействие f. Тогда САУ с MPC-регулятором можно представить структурной схемой, показанной на рис. 1.

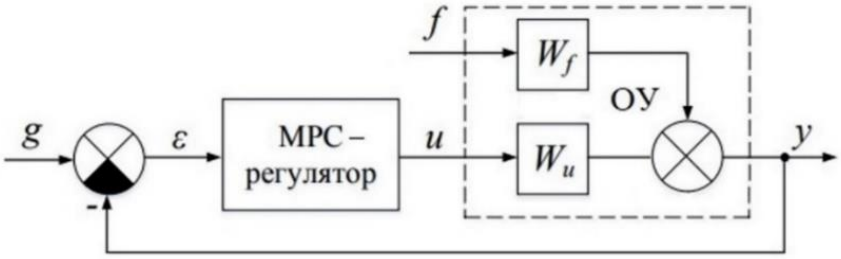


Рисунок 1 - Структурная схема САУ с МРС-регулятором

На рис. 1 обозначены: g – задающее воздействие (уставка); f – возмущающее воздействие (возмущение); u – управляющее воздействие (сигнал управления); W_u – передаточная функция ОУ по сигналу управления; W_f – передаточная функция ОУ по возмущению; y – выходная (регулируемая) величина (переменная); ε – ошибка управления, $\varepsilon = g - y$.

Рассмотрим принципы адаптивного прогнозирующего управления на базе МРС-регулятора. Пусть имеются управляющее воздействие (сигнал) $u(t)$ на объект управления и выходная регулируемая переменная $y(t)$. Задающее воздействие (сигнал) $g(t)$ является желаемой величиной (зависимостью) изменения регулируемой переменной. Система рассматривается в дискретные моменты времени, т.е. только в моменты времени $t=k\Delta T$, где ΔT – период квантования, а k – целое число.

Главной особенностью адаптивного прогнозирующего управления является наличие математической модели объекта управления, которая достаточно точно описывает его поведение. Наличие адекватной математической модели объекта управления позволяет прогнозировать значения регулируемой переменной на определенное число шагов вперед. На рис. 2 значения регулируемой величины $y(t)$, предсказанные в момент времени t обозначены через $\hat{y}(t)$. Горизонт предсказания строится на определенное число шагов N_p.

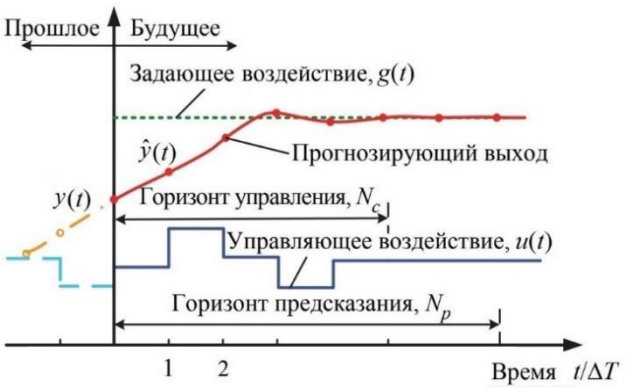


Рисунок 2 - Адаптивное прогнозирующее управление

Прогнозируемая траектория регулируемой переменной будет зависеть от будущих значений управляющего воздействия $u(t)$, которые формируются с помощью МРС-регулятора. В состав регулятора входит прогнозирующая модель объекта управления (ОУ) и оптимизатор.

Суть адаптивного прогнозирующего управления состоит в определении МРС-регулятором последовательности значений управляющего сигнала $u(t)$, которая позволит обеспечить наилучшую прогнозируемую траекторию $\hat{y}(t)$ для регулируемой переменной $y(t)$.

Длина последовательности N_c рассчитываемых управляющих воздействий $u(t)$ является фиксированной величиной и называется горизонтом управления. Необходимая последовательность значений управляющего воздействия устанавливается решением задачи оптимизации. Выбор наилучшей траектории регулируемой переменной определяется показателем качества регулирования, которым принимают квадрат рассогласования между прогнозируемой выходной переменной $\hat{y}(t)$ и задающим воздействием (желаемой траекторией) $g(t)$. Также оценивается изменение величины управляющего сигнала. После подачи на объект управления вычисленного оптимального управляющего воздействия $u(t)$ на следующем шаге вся процедура повторяется заново с учетом вновь поступившей информации.

Исследование адаптивного прогнозирующего управления проведено на примере приточной вентиляционной системы VAV учебной аудитории в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим $T(t)$ в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха. В рассмотренной вентиляционной системе VAV изменение тепловой нагрузки помещения компенсируется изменением количества приточного воздуха $G(t)$, поступающего от центральной приточной вентиляционной установки при его постоянной температуре. Исследование вентиляционной система VAV осуществлялось по задающему воздействию – заданной температуре в помещении $T_з(t)$. Предварительно известными методами на основе экспериментальных исследований выполнена параметрическая идентификация вентиляционной системы как объекта управления температурой воздуха в помещении $T(t)$ по поступающему в него массовому расходу нагретого воздуха $G(t)$. Для идентификации математической модели были использованы возможности блока программных инструментов System Identification Toolbox пакета прикладных программ MATLAB. Получена следующая передаточная функция для температуры в помещении по массовому расходу воздуха для безразмерных переменных

$$W_{TG}(s) = \frac{e^{-54s}}{78s^2 + 320s + 1}, \qquad (1)$$

где s – переменная Лапласа.

Передаточная функция (1) для безразмерных отклонений переменных рассматривалась как произведение двух типовых звеньев: апериодического звена 2-го порядка и звена запаздывания со временем τ=54 *с*. Для моделирования вентиляционной системы VAV в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма. Синтеза МРС-регулятора выполнен с использованием набора программных инструментов Model Predictive Control Toolbox. Период квантования был задан ΔT =10 *с*, горизонт прогнозирования N_p=100 шагов, горизонт управления N_c=30 шагов. Минимальное значение управляющего сигнала $u(t)$ было равно 0, что соответствует полностью закрытому терминалу VAV, а максимальное значение равно 2, что соответствует максимальному количеству воздуха на выходе терминала VAV, которое в 2 раза превышает среднее значение расхода приточного нагретого воздуха $G(t)$, поступающего в помещение от центральной вентиляционной системы.

Проведены расчеты переходных процессов в вентиляционной системе VAV без регулятора, с ПИД-регулятором, оптимизированным по быстродействию, и МРС-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование адаптивного прогнозирующего управления позволяет усовершенствовать процессы регулирования вентиляционной системы VAV за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает точность контролируемых параметров микроклимата в помещении и энергетическую эффективность системы. Длительность переходного процесса в системе без регулятора составила 1008 *с* (16,8 *мин*), с ПИД-регулятором 512 *с* (8,5 *мин*), с МРС-регулятором 262 *с* (4,2 *мин*). При использовании МРС-регулятора практически отсутствует

перерегулирование системы, что не приводит к перегревам, когда температура в помещении поднимается выше заданной, а это исключает дополнительные потери тепла.

Следует обратить внимание, что адаптивное прогнозирующее управление имеет недостатки связанные с необходимостью составления точных и адекватных математических моделей объекта управления. Не всегда можно составить адекватную математическую модель вентиляционной системы, и, чем сложнее математическая модель объекта управления, тем больше вычислительных мощностей необходимо для реализации MPC-регулятора. Адаптивное прогнозирующее управление требует существенных вычислительных ресурсов при управлении вентиляционными системами с несколькими регулируемыми параметрами и возмущениями, поскольку блок оптимизации и прогнозирующая модель должны работать синхронно с управляемым процессом, а их практически нельзя разделить на две независимые подзадачи. Однако, современное развитие микропроцессорной техники позволяет обеспечить программируемым контролерам быстродействие и объем памяти, необходимые для реализации алгоритмов адаптивного прогнозирующего управления на основе MPC-регуляторов в режиме реального времени.

Проведенные исследования показали, что использование MPC-регулятора позволяет усовершенствовать процессы регулирования в вентиляционных системах VAV за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает качество регулирования и энергетическую эффективность систем.

Таким образом, в работе рассмотрен вопрос совершенствования процессов регулирования вентиляционных систем VAV использованием MPC-регулятора. Для проведения исследований изложены особенности построения вентиляционных систем VAV и принципы построения систем управления на основе прогнозирующих моделей с MPC-регулятором.

Рассматриваемые системы вентиляции работают в режиме переменного количества подаваемого воздуха, а изменения тепловой нагрузки помещений или зон компенсируются путем изменения фактического количества приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, поступающего из центральной приточной установки. Изложен принцип адаптивного прогнозирующего управления с использованием MPC-регулятора, структура регулятора и подход к выбору оптимальных значений управляющего сигнала.

Исследование процессов регулирования вентиляционных систем VAV использованием MPC-регулятора проведено на примере приточной вентиляционной системы учебной аудитории в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха. Для моделирования системы в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, для синтеза MPC-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox.

Проведено исследование переходных процессов в вентиляционной системе VAV без регулятора, с ПИД-регулятором и MPC-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование MPC-регулятора позволяет усовершенствовать процессы регулирования за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает качество регулирования и эффективность вентиляционных систем.

Список литературы

1. Андрийчук, В.Н. Управление системами отопления, вентиляции и кондиционирования на основе МРС-подхода / В.Н. Андрийчук, В.И. Соколов, Н.Д. Андрийчук // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: ФГБОУ ВОДНР «ДонНАСА», 2022. – Вып. 2022-5(151) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 5-13.

2. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering. ICIE 2020. Lecture notes in mechanical engineering. – 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.

3. Андрийчук, В.Н. Улучшение эксплуатационных характеристик вентиляционных систем применением адаптивного прогнозирующего управления / В.Н. Андрийчук, В.И. Соколов, Н.Д. Андрийчук // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки материалов давлением в машиностроении: Сб. науч. тр. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2022. – № 3(40). – С. 90-98.

4. Соколов, В.І. Гідравліка / В.І. Соколов, О.С. Кроль, О.В. Єпіфанова. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.

5. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

6. Андрийчук, В.Н. Повышение качества регулирования приточной вентиляционной системы / В.Н. Андрийчук, В.И. Соколов, Н.Д. Андрийчук // Сб. науч. тр. ДонГТИ. – Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. - № 28(71). – С. 90-97.

7. Андрийчук, В.Н. Совершенствование процессов регулирования вентиляционных систем VAV использованием МРС-регулятора / В.Н. Андрийчук, В.И. Соколов, Н.Д. Андрийчук // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2022. – № 12(66). – С. 14-19.

УДК 697.326

Головач Юлия Александровна,
кандидат технических наук, доцент каф. ТТГВ;
Хегай Владислав Викторович,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Набхан Давид Хассан,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СГОРАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

В статье рассмотрена проблема совершенствования сжигания природного газа в котловых агрегатах. На основании литературного анализа выявлены причины появления химической неполноты сгорания топлива и возможные пути решения данной проблемы. Рассмотрены способы качественной подготовки газовоздушной смеси, исследован опыт отечественных и зарубежных производителей газовых горелок, позволяющих получать более высокие показатели качества сгорания топлива.

Ключевые слова: газовое топливо, газовая горелка, газовоздушная смесь, химическая неполнота сгорания, котловой агрегат, качество сгорания топлива

Природный газ, являясь эффективным энергетическим ресурсом и наиболее экологически чистым топливом, занимает доминирующее положение в структуре топливно-энергетического баланса стран СНГ [1, 2].

На сегодняшний день задачи повышения качества и экономичности сжигания топлива, уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу, снижения капитальных затрат на их реализацию, становятся первостепенными [3].

Качество сгорания газа устанавливается анализом состава продуктов сгорания, где при полном сгорании горючие компоненты будут отсутствовать [4-6].

Газогорелочное устройство реализует процесс сжигания газа, перемешивая его в нужном объеме с окислителем, отвечает за интенсивность протекания химических реакций горения в топочной камере, создаёт условия развития факела размеров, вписывающихся в топочный объём котельной установки [7-9].

Процесс горения газа в топке котлоагрегата определяется качеством работы смесительного устройства горелки, основным назначением которого является распределение топлива в потоке воздуха и подготовка газовоздушной смеси [10]. Когда эта функция выполняется и в топке обеспечены условия зажигания, высокий температурный уровень и выдержан необходимый объём топочного пространства, происходит полное сгорания топлива с минимальным коэффициентом избытка воздуха.

На качество и скорость сжигания газа, экологические показатели продуктов сгорания определяющее значение оказывает качество подготовки газовоздушной смеси. Чем оно выше, тем эффективнее будут происходить процессы горения.

По степени подготовки горючей смеси различают диффузионные горелки – горелки без предварительного смешения газа с окислителем, горелки с полным предварительным смешением, горелки с неполным предварительным смешением, горелки с частичным предварительным смешением. Способ сжигания газа можно разделить на диффузионный, кинетический и смешанный [1, 11, 12].

Экспериментальные исследования показали, что причинами появления химической неполноты сгорания могут быть общий недостаток воздуха, плохое смесеобразование, особенно на начальных стадиях горения топлива, низкая температура в топочной камере, особенно в зоне догорания топлива, недостаточное время пребывания топлива в пределах топочной камеры, в течение которого не может полностью завершиться химическая реакция

горения. Обеспечение полноты сгорания является сложной задачей, поскольку зависит не только от принципа сжигания газа, но и от условий развития пламени в топочном объёме [13].

Потери теплоты с химической неполнотой сгорания должны быть сведены к нулю за счет правильного выбора газогорелочных устройств (например, установка на котлах ДКВР горелок типа ГМГМ вместо устаревших ГМГ обуславливает повышение КПД котлоагрегата на l-1,5 %); перевода котлоагрегатов на автоматическое регулирование соотношения «топливо – воздух» (т.е. обеспечение оптимального коэффициента избытка воздуха); забора воздуха на горение из наиболее горячих зон помещения котельной; повышения качества изготовления и монтажа, наладки работы горелок и топочных туннелей.

Оптимальное дозирование газовоздушной смеси может достигаться за счет усовершенствования конструкции горелок [14].

Зарубежными производителями Waishaupt, Baltur и др. (рисунок 1) изготавливаются автоматические дутьевые газогорелочные блоки, которые завоевали отечественный рынок [15, 16]. Эти горелки с принудительной подачей воздуха оснащены встроенным вентилятором с автоматическим управлением, позволяющим без участия человека регулировать коэффициент избытка воздуха. Горелки оборудованы электронным микропроцессорным блоком, который у большинства типов снабжён памятью, обеспечивающей ввод и хранение информации о различных режимах работы, графиков и технологических карт управления процессами в цифровом виде. Смешение газа с воздухом осуществляется путём подачи газовых струй в закрученный поток воздуха под различными углами. Регулирование работы горелок производится путём изменения подачи газа и воздуха.

Автоматический контроль рабочих параметров (расхода газа и воздуха) в режиме реального времени и возможность их раздельной регулировки обеспечивает во время работы горелки независимо от изменения внешних параметров (давления газа, сопротивления камеры сгорания, атмосферного давления и напряжения питания) образование газовоздушной смеси с минимальным коэффициентом избытка воздуха. Устройство горелки поддерживает в режиме реального времени высокое качество сжигания газа во всём диапазоне рабочего регулирования горелки.

а) б)

Рисунок 1 – Дутьевые газовые горелки производства компании: а– Baltur (Италия), б – Weishaupt (Германия)

В газовых горелках фирмы Cuenod (рисунок 2) используется автоматическая система AGP, создающая оптимальное соотношение смеси газа и воздуха, при которой обеспечивается стабильность состава газовоздушной смеси и полное сгорание углерода. Для этого применяется регулятор числа оборотов дутьевого вентилятора, так называемая «система Variatron». Система AGP измеряет давление газа на выходе газовой рампы, давление воздуха перед пламенной головой, противодавление в топке. Любое изменение этих трех давлений моментально и одновременно регистрируется системой, которая автоматически восстанавливает правильное соотношение газо-воздушной смеси для горения.

К основным недостаткам автоматических дутьевых горелок иностранных производителей относится сложность конструкции, высокая стоимость, а также необходимость спецобслуживания.

Рисунок 2 – Газовая горелка фирмы Cuenod

Одним из способом качественной подготовки смеси является способ, используемый в горелочном устройстве, предназначенном для сжигания природного газа в конденсационных отопительных котлах фирмы Rendamax (Голландия). Горелки данных котлов используют способ смешения газа с воздухом, организуемый в дутьевом вентиляторе [14, 17].

Камера смешения снабжена устройством принудительного (механического) перемешивания - дутьевым вентилятором, обладающим взрывобезопасной конструкцией. Газовоздушная смесь подготавливается отдельно, и в месте подачи в зону горения обладает равномерным составом, что позволит полностью сжигать газ с минимальным коэффициентом избытка воздуха по кинетическому принципу. Однако, такой вариант является непростым для реализации с технической точки зрения.

В ряде городов получили распространение системы автоматики, не оборудованные приборами контроля состава отходящих газов, при этом котлы работают с ручным регулированием подачи топлива и воздуха. При составлении режимной карты наладчики сознательно увеличивают расход воздуха, подаваемого на горение, для исключения химического недожога, вызываемого изменением теплоты сгорания топлива, температуры воздуха и др. В процессе эксплуатации оператор визуально определяет качество горения, в результате чего расход воздуха может увеличиться еще больше [3].

Приблизить работу котла к показателям режимно-наладочной карты, обеспечить максимальную эффективность работы котла можно, имея информацию о содержании свободного кислорода и оксида углерода в уходящих газах. Такую информацию можно получить от стационарных анализаторов дымовых газов, например, разработанных и выпускаемых фирмой «УРАН-СПб». Для этой цели можно использовать: анализатор кислорода O_2 - МАДГ-2 и анализатор оксида углерода СО-МАДГ-1, или комбинированный анализатор КАДГ-2, или интеллектуальный анализатор качества горения ИАКГ-2. Установка этих приборов позволяет оператору получать непрерывно данные от анализаторов. При этом оператор может своевременно обнаруживать серьезные неисправности в газовоздушном тракте технологического оборудования по расхождению параметров, заданных в режимной карте и измеренных анализаторами. Возможность оперативного контроля технического состояния котла и ручная коррекция позволяют существенно повысить эффективность, надежность и экономичность работы теплогенерирующей установки.

Список литературы

1. Стаскевич, Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа [Текст] / Н. Л. Стаскевич, Г. Н. Северинец, Д. Я. Вигдорчик – Л.: Недра, 1990. – 761 с.
2. Иссерлин, А. С. Основы сжигания газового топлива [Текст]: справочное пособие / А. С. Иссерлин –2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1987. – 336 с.
3. Воликов А.Н., Новиков О.Н., Окатьев А.Н. Энергоэклогическая эффективность сжигания газового и жидкого топлива в котлах малой и средней мощности // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4.
4. Комина, Г. П. Газоснабжение, горение газов [Текст]: учеб. пособ. / Г. П. Комина, А. Л. Шкаровский, Е. Е. Мариненко; Волгоградский гос. архитект.-строит. ун-т. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2010. – 123 с.
5. Кривоногов, Б. М. Повышение эффективности сжигания газа и охрана окружающей среды [Текст] / Б. М. Кривоногов – Л.: Недра, 1986. – 280 с.
6. Равич, М. Б. Газ и эффективность его использования в народном хозяйстве [Текст] / М. Б. Равич – М.: Недра, 1987. – 237 с.
7. Рациональное использование газа в энергетических установках [Текст]: Справочное руководство / Р. Б. Ахмедов [и др.] – Л.: Недра, 1990. – 423 с.: ил.
8. Воликов, А. Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности [Текст] / А. Н. Воликов – Л.: Недра, 1989. – 160 с.: ил.
9. Преображенский, Н. И. Контроль за рациональным использованием газа [Текст] / Н. И. Преображенский. – Л.: Недра, 1983. – 368 с.
10. Иванов, Ю. В. Рациональное сжигание природного газа, основанное на результатах расчета газогорелочных устройств [Текст] / Ю. В. Иванов – Таллин, 1958. – 127 с.
11. Розенфельд, Э. И. Газовые горелки [Текст] / Э. И. Розенфельд // Всесоюз. ин-т науч. и техн. информ. – М., 1973. – 123 с.
12. Иссерлин, А. С. Газовые горелки [Текст] / А. С. Иссерлин –3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1973. – 190 с.
13. Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. проф. образования [Текст] / Б.А. Соколов. — 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 432 с.
14. Яковлев, В.А. Повышение качества сжигания нетрадиционных газов в системах теплогазоснабжения: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.03 / Яковлев Виктор Александрович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2016. - 242 с.
15. Горелки Weishaupt. Газовые горелки WG10 и WG20. Исполнение LN для природного и сжиженного газа [Текст]: техн. паспорт. – Швенди, 1999. – 8 с.
16. Baltur gas burners [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.baltur.com/it/en/products/burners.
17. Rendamax products [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rendamax.com.ua/faq.php.

УДК 691.54

Золотухина Наталья Викторовна,
ст. преподаватель каф. архитектуры и дизайна
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко;
Дудник Анна Вячеславовна,
ст. преподаватель каф.
строительной инженерии и экономики,
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко,
(аспирант ФГБОУ ВО «БГИТУ» г. Брянск, РФ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗШС И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА CENTRAMEN P40 НА СВОЙСТВА БЕТОНА

Аннотация. Представлены результаты исследования по определению и оценке эффективности золошлаковой смеси в составах тяжелого бетона совместно с лигносульфонатным пластификатором. Изучена возможность замены части цемента золошлаковой смесью при производстве бетона для тротуарной плитки.

Ключевые слова: ресурсосбережение, отходы производства, бетон, модифицированный бетон, золошлаковая смесь, суперпластификатор, прочность, плотность.

В строительном производстве остро стоит задача рационального природопользования, позволяющего удовлетворить потребности производства, не забывая об охране и воспроизводстве окружающей среды. С конца прошлого столетия идеология безграничного технического прогресса уступает место концепции устойчивого развития, одной из целей которой является учитывать интересы не только нынешнего, но и будущего поколения. Одним из направлений концепции устойчивого развития является - использование отходов производства, которые накапливаются в отвалах и могут представлять собой - техногенное сырье. При значительных объемах техногенных скоплений уровень их утилизации невысокий в странах постсоветского пространства. С начала нынешнего столетия основным потребителем промышленных отходов становится строительная индустрия, в которой происходит изменение природной сырьевой базы для производства материалов путем пополнения ее новым видом сырья - техногенным.

Строительная отрасль меняет свои задачи с учетом направлений концепции устойчивого развития, важнейшей из которой является разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, предусматривающих широкое применение местного минерального сырья и техногенных продуктов. В области ресурсо- и энергосберегающих технологий приоритетными направлениями можно считать: совершенствование традиционных технологий; предварительная подготовка исходных компонентов, основанная на современных технологических приемах; применение малоэнергоемких и материалоемких материалов, в том числе техногенного сырья.

Из всех образующихся и накопившихся отходов самыми многотоннажными являются отходы угледобывающей и топливной промышленности. Золошлаковые отходы и породы шахтных отвалов по химическому, гранулометрическому и фазово-минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью. Использование золошлаковых отходов, как техногенное сырье в промышленности строительных материалов - один из стратегических путей решения экологической проблемы по улучшению состояния природной среды в зоне работы ТЭС и угольно-промышленных районов [1-3].

В последние годы накоплен значительный опыт по применению отходов теплоэнергетики, особенно зол и шлаков, в качестве наполнителей и минеральных добавок в бетонах [4-8 и др.]. В соответствии с ГОСТ 25592-2019 [9]: «рациональные области применения золошлаковых смесей (ЗШС), а также техногенного сырья и материалов, которые

могут быть получены при предварительной подготовке ЗШС при изготовлении тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов для сборного и монолитного строительства устанавливают в зависимости от вида ЗШС, ее насыпной плотности, удельной поверхности и химического состава зольной и шлаковой составляющих».

При изготовлении тяжелых, легких бетонов и строительных растворов золы следует применять в целях экономии цемента, заполнителей, улучшения технологических свойств бетонной и растворной смесей, а также показателей качества бетонов и растворов.

Оптимальное содержание золы в тяжелых, легких, ячеистых бетонах, сухих строительных смесях и строительных растворах устанавливают в результате подбора составов на конкретных материалах при условии обеспечения требуемых показателей качества бетона и раствора в изделиях, конструкциях и коррозионной стойкости арматуры. Для повышения эффективности применения золы в бетонах применяют химические добавки по ГОСТ 24211.

В связи с вышеперечисленным выделена практическая значимость исследования использования ЗШС при проектировании составов бетонных смесей, как важный аспект повышения качества бетона при экономии вяжущих веществ.

В результате ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований [10] установлена возможность эффективных композиционных вяжущих зольной составляющей на основе отходов промышленности - золошлаковых смесей. Изучен химический, морфологический и зерновой состав ЗШС МГРЭС [11].

Цель данной работы заключается в оценке эффективности золошлаковой смеси (ЗШС) по критерию изменения прочности тяжелого бетона (ТБ) при замене части цемента на ЗШС в составах ТБ для тротуарной плитки марки 300 с суперпластификатором Centrament P40 (СП П40).

В качестве сырьевых компонентов для изготовления образцов ТБ использовались:

- нормальнотвердеющий портландцемент (ПЦ) типа ЦЕМ II, класса прочности 42,5Б, содержание добавки: известняк - 16,1%, прочностью на сжатие: в возрасте 2 суток – 24,2 МПа, в возрасте 28 суток – 50,5 МПа по ГОСТ 31108-2020 (ЗАО «Рыбницкий цементный комбинат», г. Рыбница, Приднестровская Молдавская Республика (ПМР));

- природный кварцевый песок класса 1 с модулем крупности 2,44, содержание пылевидных и глинистых частиц 1,4% по ГОСТ 8736-2014 (ОАО «Тирнистром», г. Тирасполь, ПМР, карьер с. Малаешты);

- гравий фракции 4-16, содержание зерен лещадной и игловатой формы 3%, марка по прочности 1000 кгс/см2, содержание пылевидных и глинистых частиц 0,4% по ГОСТ 8267-93 (ОАО «Тирнистром», г. Тирасполь, ПМР, карьер с. Малаешты);

- ЗШС от сжигания антрацита и тощего каменного угля при совместном гидроудалении золы-уноса и шлака с содержанием зольной составляющей свыше 85% по ГОСТ 25592-2019 (МГРЭС, г. Днестровск, ПМР);

- суперпластификатор Centrament P40 (СП П40) на основе технических лигносульфонатов в виде однородной жидкости коричневого цвета плотностью при 20 °С 1,15-1,18 г/см3 (компания MC-Bauchemie, Московская обл.);

- питьевая вода по ГОСТ 23732-2011 (г. Тирасполь, ПМР).

Ранее выполненные исследования показали, что основная масса ЗШС представлена полидисперсными сферическими частицами золы-уноса с гладкой остеклованной поверхностью, а также шлаковыми частицами губчатой структуры. ЗШС относится к кислой, способной проявлять пуццолановые свойства [11]. Качественные показатели зольной составляющей ЗШС обладают средними пуццоланическими свойствами в соответствии с методикой ГОСТ 25592 [9].

Бетонные смеси ТБ (марка по осадке конуса П1 (ОК 2-4 см)) приготавливались следующим образом: загрузка в бетоносмеситель принудительного действия гравия и песка; добавление портландцемента и ЗШС (от 0 до 25 % от массы ПЦ), замес компонентов в сухом состоянии; в контрольном составе весь объем воды сразу, в составах с СП П40 сначала 2/3

части воды в чистом виде и после остальная часть с СП П40 (1% от массы ПЦ); тщательное перемешивание компонентов до однородной смеси (табл. 1).

Таблица 1 – Состав бетонных смесей и физико-механические свойства бетона

№	Состав бетонной смеси на 1 м^3 бетона								Осадка конуса, см	В/Ц	Ср. плотность, кг/м3	Пр-ть на сж., Мпа 28 сут	Пр-ть на сж., Мпа 90 сут	Эффективность ЗШС в ТБ по прочности на сжатие в возрасте 28 сут/90 сут
				ЗШС		СП П40		Вода + р-р с СП С-3, л						
	Ц, кг	П, кг	Г, кг	кг	%	л	%							
1	460	750	950			4,6	1	192	2,2	0,42	2348	30	46,8	-
2	414	750	950	46	10	4,6	1	196	2,2	0,42	2312	24,5	49,6	81,6/106,1
3	391	750	950	69	15	4,6	1	204	2,3	0,44	2283	27,1	38,7	90,3/82,8
4	368	750	950	92	20	4,6	1	209	2,5	0,45	2282	27,1	35,8	90,3/76,6
5	345	750	950	115	25	4,6	1	211	2,6	0,46	2240	21,1	39,6	70,3/84,7

Испытание на прочность тяжелого бетона контрольного (без ЗШС) и основного (с ЗШС и СП) составов проводилось на образцах-кубах размерами 10×10×10 см через 28 и 90 сутки после их естественного твердения (ЕТ) при температуре 22 °С и соответствующей влажности в лаборатории завода ЗАО «Завод домостроительных конструкций» г. Тирасполь.

Эффективность ЗШС совместно с лигносульфонатным суперпластификатором по критерию изменения прочности ТБ оценивалась согласно требованиям 25592-2019 [9]. Результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 1 в виде гистограммы.

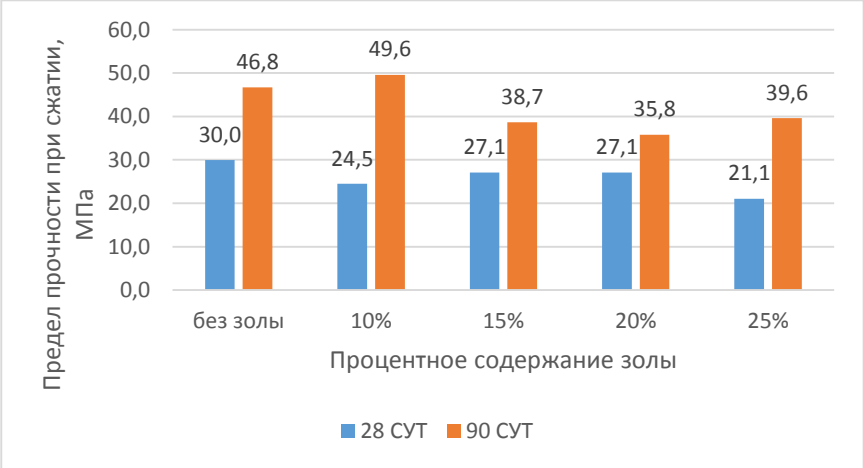


Рисунок 1 - Диаграмма зависимости прочности на сжатие тяжелого бетона с СП П40 от количества золошлаковой смеси в возрасте 28 и 90 суток

Эффективность ЗШС совместно с СП П40 по критерию повышения Rсж составляет 106% через 90 суток естественного твердения образцов в составе с процентным содержанием золы 10%; через 28 суток естественного твердения образцов эффективность составляет менее 100%.

Из полученных результатов (табл.1 и рис. 1) следует, что зависимости прочности на сжатие (Rсж) составов ТБ с СП П40 при различном содержании золошлаковой смеси, носят экстремальный характер с максимальными значениями при введении 10 % ЗШС.

Вывод: использование золошлаковой смеси МГРЭС совместно с пластифицирующей добавкой Centrament P40 не позволяет в достаточно высоком процентном соотношении снизить расход цемента в бетонных образцах. В дальнейших экспериментальных исследованиях необходимо пробовать использование СП П40 в большем процентном соотношении не от количества цемента, а от смешанного вяжущего – цемент + золошлаковая смесь, что будет приводить к уменьшению водоцементного соотношения и как следствие к

увеличению прочностных характеристик образцов, а также использовать другого рода пластифицирующие добавки.

Список литературы

1. Баженов Ю. М., Демьянов В. С., Калашников В. И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.

2. Батркаов В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.

3. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение и технологии строительных материалов: учебное пособие / Н.И. Буравчук. - Ростов н/Дону: ЮФУ, 2009. - 224 с.

4. Лесовик Р.В., Володченко А.А., Швецов А.В., Поспелов М.А., Минакова А.В., Гладких Е.А. К вопросу использования отходов промышленности для создания строительных композитов // Наукоемкие технологии и инновации. Научно-практич. конфер. посв. 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 290-294.

5. Баженов Ю.М., Муртазаев С.А.Ю., Эффективные бетоны для строительных и восстановительных работ с использованием бетонного лома и отвальных зол ТЭС // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 124-127.

6. Aparna Sai Surya Sree Nedunuri, Salman Muhammad Fundamental understanding of the setting behaviour of the alkali activated binders based on ground granulated blast furnace slag and fly ash [Электронный ресурс]. ScienceDirect Construction and Building Materials, 2021. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860421003468 (дата обращения: 01.02.2022)

7. W. Micah Hale, Seamus F. Freyne, Thomas D. Bush Jr., Bruce W. Russell Properties of concrete mixtures containing slag cement and fly ash for use in transportation structures [Электронный ресурс]. ScienceDirect Construction and Building Materials, 2008. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061807001833 (дата обращения: 01.02.2022)

8. A. Keulen, A.van Zomeren, J.мJ. Dijkstra Leaching of monolithic and granular alkali activated slag-fly ash materials, as a function of the mixture design [Электронный ресурс]. ScienceDirect Waste Management, 2018. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X18303738 (дата обращения: 01.02.2022)

9. ГОСТ 25592-2019 Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019

10. Золотухина Н. В., Лукутцова Н. П., Исследования влияния микронаполнителя - золы уноса МГРЭС на свойства мелкозернистого бетона. Материалы междун. науч.-практ. конференции «Инновации в строительстве-2020» БГИТУ, 2020 с. 96-103

11. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Соболева Г.Н., Золотухина Н.В., Обыденная А.А. Композиционный заполнитель для легких бетонов с использованием хризотилцементных и золошлаковых отходов // Строительные материалы. 2021. № 8. с. 53-59

УДК 456.72

Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Козик Тимур Вячеславович,
магистрант гр. ТГВм-52а каф.**;**
Орлов Владимир Владиславович,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В данной статье приведены общие понятия и произведён анализ известных методов расчета потерь давления в системах вентиляции жилых зданий, а именно метода полных потерь давления и метода статических потерь давления. Рассмотрены методики последовательности применения данных методов, разобраны формулы и приведены прочие необходимые данные для проведения расчетов. Затронуты дополнительные методы расчета располагаемых давлений системы вентиляции. Осуществлено сравнение методов друг с другом, выявлены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: системы вентиляции, потери давления, аэродинамический расчет, располагаемое давление, местное сопротивление, скорость воздуха, расход воздуха, тройник, коэффициенты сопротивления.

Для оценки эффективности работы систем вентиляции проводят аэродинамические расчеты, которые включают в себя нахождение потерь давления. При определении потерь давления в системах вентиляции жилых зданий применяют *метод полных потерь давления* и *метод статических давлений*.

Условием работоспособности системы вентиляции жилого здания является равенство потерь давлений в самой системе $\Delta p_{\text{сист}}$ и располагаемого давления $p_{\text{расп}}$. Допускаемая невязка равна 5-10%:

$$\frac{p_{\text{расп}}-\Delta p_{\text{сист}}}{p_{\text{расп}}}100 \le 10\%. \quad (1)$$

Располагаемое давление будет пропорционально разности плотностей наружного и внутреннего воздуха [2]:

$$p_{\text{расп}} = gH(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}), \quad (2)$$

где H – разность отметок центра вытяжной решетки и устья вытяжной шахты, м.

Расчетная температура наружного воздуха при расчете естественной вентиляции принимается равной ±5 °С.

Полные потери давления в системе $\Delta p_{\text{сист}}$ равны сумме потерь давления на трение по длине каналов и потерь на местные сопротивления:

$$\Delta p_{\text{сист}} = \left(\lambda\frac{1}{d} + \sum\zeta\right)\frac{v^2}{2}\rho. \quad (3)$$

Расчет потерь давления в системе, состоящей из типовых вентиляционных блоков, рекомендуется проводить по формулам [3]:

$$\Delta p = \varphi_\delta \cdot \frac{\rho\cdot v^2}{2}; \quad (4)$$

$$\varphi_\delta = \frac{\lambda}{d_r}\cdot 1 \cdot \left(\frac{F^p}{F}\right)^2 \cdot k_F + \sum\zeta\cdot\left(\frac{F^p}{F}\right)^2, \quad (5)$$

где F^p- площадь расчетного сечения участка, в котором измеряется скорость воздуха, м^2;

F – площадь сечения ответвления или большого сечения сборного канала, м^2;

k_F – коэффициент, вводимый для участков с плавным изменением сечения для прохода воздуха, определяется как отношение площадей большего сечения к меньшему.

Отношение λ/d_r определяем по графику (рисунок 1) [3].

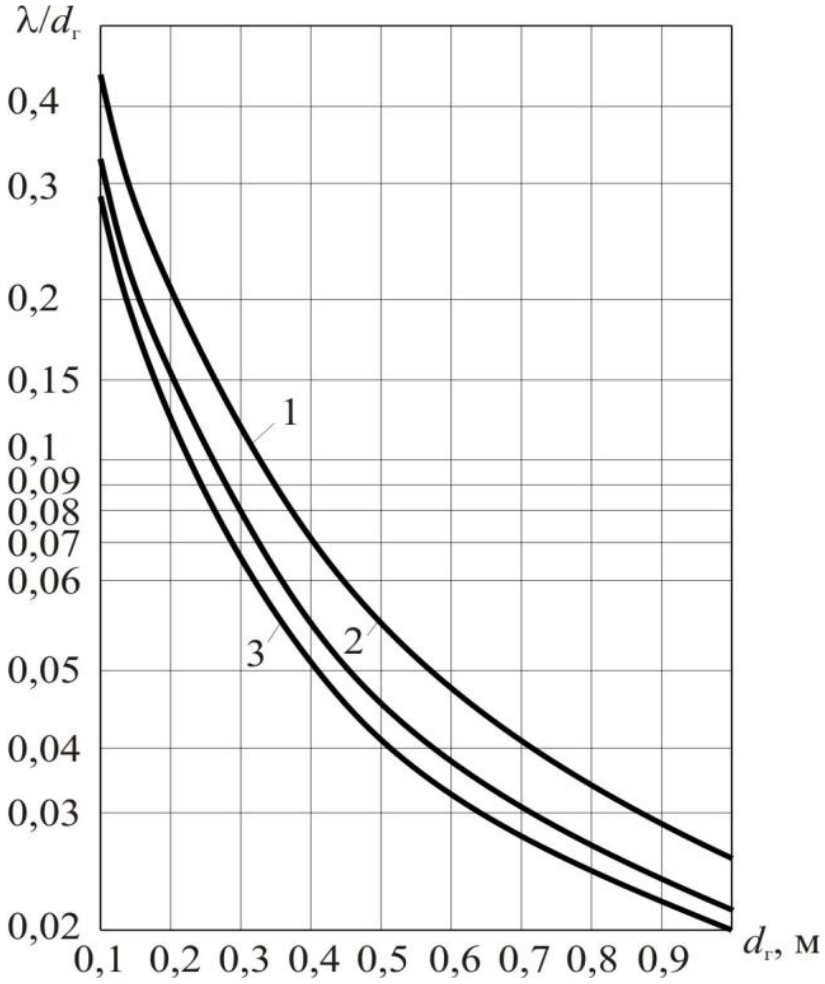


Рисунок 1 – График для определения отношения λ/d_r:
1 – для бетона; 2 – для асбестоцемента; 3 – для стали

Стоит отметить, что в расчете вытяжной шахты значение λ/d_r, часто, выпадает из области определяемой графиком (рисунок 1). По результатам вычисления числа Рейнольдса получим, что движение воздуха проходит в турбулентном режиме. В таком случае, коэффициент сопротивления трения для шахты будет определяется по формуле А.Д. Альтшуля, применяемая для турбулентного движения потока [2].

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{К_э}{d} + \frac{68}{Re}\right)^{0{,}25}, \quad (6)$$

где $К_э$ – эквивалентная абсолютная шероховатость, мм.

Эта формула универсальна и даёт достоверные результаты для всех областей турбулентного движения.

В местах поворота воздуховода, слияние потоков в тройниках, изменение размера воздуховодов или установки регулирующих устройств происходит падение давления в потоках перемещаемого воздуха. Для удобства проведения аэродинамического расчета, потери давления для местных сопротивлений считаются сосредоточенными. Зависимости потерь давления для разных случаев в полной мере описаны в литературных источниках. Коэффициенты местных сопротивлений для тройников определяются по формулам [4]:

$$\zeta_{с.б} = 1 + \left(\frac{L_б}{L_с}\cdot\frac{F_с}{F_б}\right)^2 - 2\frac{F_с}{F_п}\cdot\left(1 - \frac{L_б}{L_с}\right)^2 - 2\frac{F_с}{F_б}\cdot\left(\frac{L_б}{L_с}\right)^2\cos\alpha\,; \quad (7)$$

$$\zeta_{с.п} = 1 + \left(\frac{F_с}{F_п}\right)^2\left(1 - \frac{L_б}{L_с}\right)^2 - 2\frac{F_с}{F_п}\cdot\left(1 - \frac{L_б}{L_с}\right)^2 - 2\frac{F_с}{F_б}\cdot\left(\frac{L_б}{L_с}\right)^2\cos\alpha, \quad (8)$$

где $F_с, F_п, F_б$ – площади сечений вентиляционного канала, соответствующие большего, меньшего и бокового канала, м;

$L_с$, $L_б$ – расходы воздуха, проходящего по каналам, м^3/ч;

α – угол присоединения бокового ответвления тройника.

При проведение аэродинамического расчета вытяжных систем наиболее сложным и трудоемким процессом является определение тех самых коэффициентов местного сопротивления тройников. Поэтому, существует способ расчета, который позволяет обойти определения этих коэффициентов. Данным способ является *метод статических давлений,* и он рекомендуется использовать для расчетов естественных систем вентиляции жилых зданий, выполняемых из унифицированных блоков [5]. Автор данного метода, профессор П.Н. Каменев предложил вместо расчета полных потерь давления в тройниках считать изменение статического давления при слиянии потоков. Последовательность аэродинамического расчета по статическому давлению в основном совпадает с последовательностью обычного и отличается лишь в нескольких моментах.

Исходя из того, что размеры канала и отверстия в здание остаются постоянными, а расходы на всех ответвлениях одинаковыми, то целью расчета, при данном методе, служит нахождение дополнительных потерь давления на входе в канал этажа:

$$\Delta p = [(R \cdot \beta_ш \cdot l)_n + (\sum \zeta + 1)_n] \cdot p_{д.n} + p_{ст.n}, \quad (9)$$

где $p_{д.n}$ – динамическое давление в ответвление этажа, Па;

$p_{ст.n}$ – статическое давление в сборном канале в месте присоединения к нему ответвления, Па, определяется при проведение последовательного расчета, начиная с верхнего этажа:

$$p_{ст.n} = p_{ст.(n+1)} + (R \cdot \beta_ш \cdot l)_{к.(n+1)} + \Delta p_{ст.n}. \quad (10)$$

Статическое избыточное давление в сборном канале равняется:

- при известном статическом давлении на срезе шахты:

$$\Delta p_{ст.N} = p_{ст.к} + \Delta p_{ст.к} + (R \cdot \beta_ш \cdot l)_{к.N} + Z_{к.N} + \Delta p_{ст.N}; \quad (11)$$

- при известном полном давление на срезе шахты:

$$\Delta p_{ст.N} = p_{п.к} + \Delta p_{ст.к} + (R \cdot \beta_ш \cdot l)_{к.N} + Z_{к.N} - p_{д.N} + \Delta p_{ст.N}. \quad (12)$$

где $p_{ст.к}$ – изменение статического давления в канале при изменении его поперечного сечения, Па;

$(R \cdot \beta_ш \cdot l)_{к.N}$ – потеря давления в сборном канале от точки соединения верхнего ответвления до верхнего среза, Па;

$Z_{к.N}$ – потери давления в местных сопротивлениях расчетной части сборного канала, Па;

$p_{д.N}$ – динамическое давление в сборном канале (в месте слияния потоков), Па;

$\Delta p_{ст.N}$ – изменение статического давления в тройнике, Па.

Необходимые величины для определения статического давления – скорость воздуха в сборном канале, до v_{1n} и выше v_{3n} тройника, а также в ответвлениях v_{2n}. Они вычисляются по формулам:

$$v_{1n} = L_{эт}(n-1)/F_к \quad (13)$$

$$v_{2n} = L_{эт}/F_{отв} \quad (14)$$

$$v_{3n} = L_{эт}n/F_к \quad (15)$$

где $F_к/F_{отв}$ – площади поперечного сечения сборного канала и ответвления, м^2;

n – рассчитываемый этаж.

Таким образом, метод статических потерь дает возможность рассчитать статическое давление, а, следовательно, и полное давление после смешения потоков в тройнике. Данная методика статических потерь основана на принятие равности расходов воздуха на ответвлениях и сводится к нахождению значения $\Delta p_{ст}$, которое определяется значениями фактических скоростей.

Помимо вышеупомянутых методов нахождения потерь давления, существует и ряд методов нахождения располагаемого давления. Классический метод определения располагаемых давлений основан на допущение равенства давление внутри и снаружи помещения, то есть без учёта сопротивления воздуха, которое поступает через окно. Но, данные

метод стоит рассматривать лишь в тёплый период года, когда в помещениях открывают окна и форточки. Также, разработаны методы, для нахождения располагаемых давлений системы, основанные на допущении, что окна на всех этажах полностью закрыты и имеют одинаковую воздухопроницаемость.

В конечном итоге, вне зависимости от используемого метода, проводится проверка системы на работоспособность, при помощи сравнения полученных потерь давления с располагаемыми потерями (рисунок 2) [1]. В случае, когда полученные потери, ниже располагаемых – система является теоретически работоспособной.

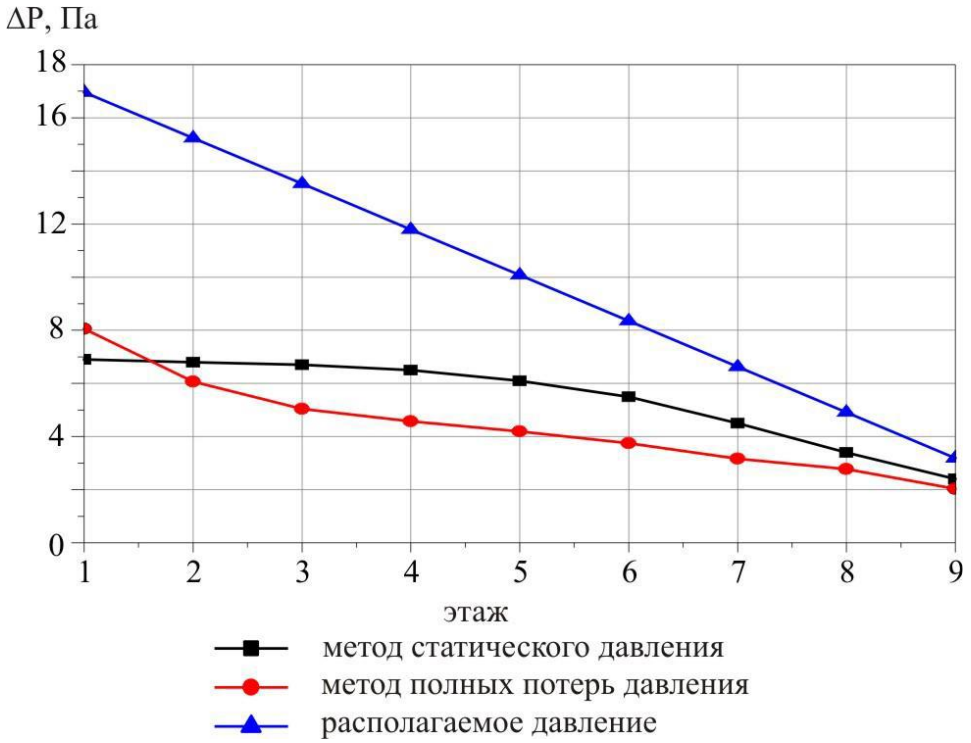


Рисунок 2 – Пример графического сравнения рассчитанных потерь давления с располагаемым давлением системы вентиляции жилого здания

Исходя из рассмотренного, следует отметить, что у данных методов присутствует расхождение в полученных данных, которое вызвано различным подходом расчетов (при определение методом полных потерь давления учитывается коэффициент местного сопротивления бокового ответвления тройника и сборного клапана, значение этого коэффициента и придаёт повышение потерь давления). Поэтому, именно метод полных давлений можно считать более точным и приближенным к реальным условиям, по сравнению с методом статических давлений. И хотя статический метод менее точен, чем метод полных потерь, он оказался более удобным, особенно для систем в многоэтажных жилых зданиях.

Список литературы

1. Совершенствование аэродинамических и теплофизических показателей систем обеспечения параметров микроклимата : диссертация ... доктора технических наук : 05.23.03 / Кучеренко Мария Николаевна; [Место защиты: Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва]. - Тольятти, 2018. - 383 с.

2. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: Учебник для вузов: в 2 ч. Ч.2. Вентиляция / В.Н. Богословский, В.И. Новожилов, Б.Д. Симаков, В.П. Титов; Под ред. В.Н. Богословского. – М., Стройиздат, 1976. – 439 с.

3. Грудзинский, М. М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этаж- ности / М. М. Грудзинский, В. И. Ливчак, М. Я. Поз. – М. : Стройиздат, 1982. – 256 с.
4. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1975. – 559 с.
5. Титов, В.П. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и про- мышленных зданий: учебное пособие для вузов / В.П. Титов, Э.В. Сазонов, Ю.С. Краснов, В.И. Новожилов. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

УДК 456.72

Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Сеньков Андрей Олегович,
магистрант гр.ТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Аннотация. В данной статье рассмотрены применяемые в настоящее время системы автоматического управления и контроля системами вентиляции и кондиционирования, а также установки, находящиеся на данный момент в стадии разработки и тестирования. Полноценное внедрение установок и использованием интеллектуальной системы управления составит высокую конкурентоспособность на рынке и со временем вытеснит нынешние системы автоматического управления, превзойдя конкурентов в энергоэффективности и сроке службы всего комплекса в целом.

Ключевые слова: системы вентиляции, системы управления, микроклимат, автоматическое управление, интеллектуальные системы, энергоэффективность, алгоритмы действий, нейронные сети.

Современные системы обеспечения микроклимата помещений, в настоящее время, трудно представить без систем автоматизированного управления. САУ оптимизирует процессы в работе климатического оборудования, что позволяет существенно снизить расходы на энергопотребление. Система автоматизированного управления легко внедряется в системы управления технологических, инженерных и коммуникационных систем. Также ярким преимуществом данной системы является защита узлов всей рабочей среды от преждевременного износа и выхода из строя её узлов [1].

Сбережение энергетических ресурсов непосредственно зависит от применения в системах обеспечения микроклимата самых передовых и технологичных разработок.

Рекуперативные утилизаторы теплоты и теплонасосные установки используются в качестве энергосберегающего оборудования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Частотное регулирование производительности вентилятора в зависимости от концентрации вредных веществ в воздухе, 1-ая, 2-ая рециркуляция и байпассирование являются наиболее распространёнными энергосберегающими технологиями обработки воздуха.

Автоматическое управление системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха рабочей среды в зависимости от дня недели и времени суток создаёт возможность для организации гибкого и энергоэффективного управления всего оборудования.

Каждая система и технология описанная выше даёт возможность использовать ресурсы управления микроклиматом наиболее рационально и не допускать потери её эффективности. Объединение всех систем в единый комплекс позволит повысить качество и скорость регулирования всех составляющих [2].

Свободно программируемый контроллер, на котором базируется единая платформа, обладает большим запасом памяти, что в свою очередь позволяет тестировать различные вариации работы системы. Постоянное тестирование внешних и внутренних контроллеров даёт возможность управлять микроклиматом рабочей среды более качественно.

Трудность разработки и реализации энергоэффективной СОМ и создание единого алгоритма процессов состоит в недостаточной изученности совместной работы процессов взаимодействия элементов СОМ и процессов управления в единой системе. Также

дополнительным препятствием являются непосредственно сами контроллеры. Программное обеспечение этих устройств зачастую не предоставляет возможности для более гибкого управления и свободного взаимодействия с другими источниками управления.

Существует несколько вариантов алгоритмов, при которых будут достигаться заданные параметры микроклимата рабочей среды.

Первый: система управления выбирает заранее просчитанный и наиболее подходящий вариант работы при соответствующих параметрах климата и микроклимата.

Второй: система управления сама просчитывает различные комбинации схемных решений и выбирает из них те, которые отвечают поставленной перед ней цели.

В первом случае работа системы заключается в контроле состояния факторов, влияющих на микроклимат, и подбору оптимальных вариантов работы заранее заложенных в систему. Второй случай возлагает на систему больше обязанностей. Для начала работы достаточно задать целевую функцию, затем системе управления необходимо самой создавать алгоритмы работы для достижения цели, будь-то нахождение последовательности работы управляющих устройств, для поддержания микроклимата при переменчивых внешних факторах, или же оптимизация энергопотребления.

Выбор верного алгоритма во втором случае зависит от оценки параметров окружающей среды и состояния самой СОМ в режиме реального времени. Данные показатели система использует для построения алгоритма последовательности действий для достижения поставленной задачи. В таком случае, система управления становится интеллектуальной (ИСУ) [3].

Работа ИСУ базируется на постоянном анализе информации, её обработке, сохранении и сравнении с ранее полученными данными. Из раза в раз система будет работать совершеннее. Мониторинг состояния микроклимата в зависимости от параметров рабочей среды, внешних и внутренних раздражителей в определённое время суток, недели и периода года, позволит более точно сбалансировать работу всех рабочих механизмов в целом [1]. За счет этого повышается энергоэффективность установки, продлевается срок службы рабочих механизмов системы и снижает затраты на её обслуживание.

Работа ИСУ – это адаптация к меняющимся условиям внутреннего состояния СОМ и внешней среды. В такой постановке адаптация означает возможность системы управления «прогнозировать» или «просчитывать» термодинамическое состояние объекта управления (СОМ) под влиянием изменяющихся факторов внешней среды в «будущем» с заданной вероятностью[4].

Прогнозировать состояние СОМ система управления может с помощью виртуальной (математической) модели физически реальной СОМ, обладающей способностью к распознаванию изменений параметров внешней среды. Такая модель, построенная с применением математических методов, адекватно реагирующая на воздействия внешней среды, должна иметь способность постоянно тестировать действительные параметры оборудования СОМ для «подстройки» виртуальной модели к реальным характеристикам оборудования.

Алгоритм адаптации не прописан «жестко» в памяти системы управления, он нечеткий, неявный и постоянно корректируется в процессе «жизни» СОМ.

После ввода в эксплуатацию системы обеспечения микроклимата ИСУ работает так же, как САУ, подчиняясь «жесткому» алгоритму, заложенному изначально в память системы управления. С течением времени система управления эволюционирует в интеллектуальную, используя данные мониторинга, накапливаемые в «базе знаний» [2].

По истечении определенного времени полученный опыт трансформируется в закономерности изменения определяющих факторов, оказывающих существенное влияние на параметры микроклимата. Выявленные закономерности, обработанные в виде матриц или зависимостей, позволяют ИСУ прогнозировать параметры микроклимата и затраты на их поддержание при различных вариантах схемных решений СОМ.

После завершения выполнения алгоритма ИСУ сравнит прогнозируемые параметры микроклимата с реально достигнутыми параметрами. Если результат работы СОМ совпадет с целью, ИСУ «запомнит» вариант схемного решения СОМ, внесет его в «базу знаний» и будет его применять в дальнейшем при соответствующем сочетании внешних факторов. Таков механизм эволюции ИСУ в жизненном цикле СОМ.

Одним из главных преимуществ разработанных интеллектуальных систем управления системой вентиляции на основе нечеткой логики и нейронных сетей является возможность их использования при неполном описании объекта автоматизации или изменении его параметров в процессе эксплуатации. Нейросетевой подход целесообразно применять при жестких требованиях к микроклимату.

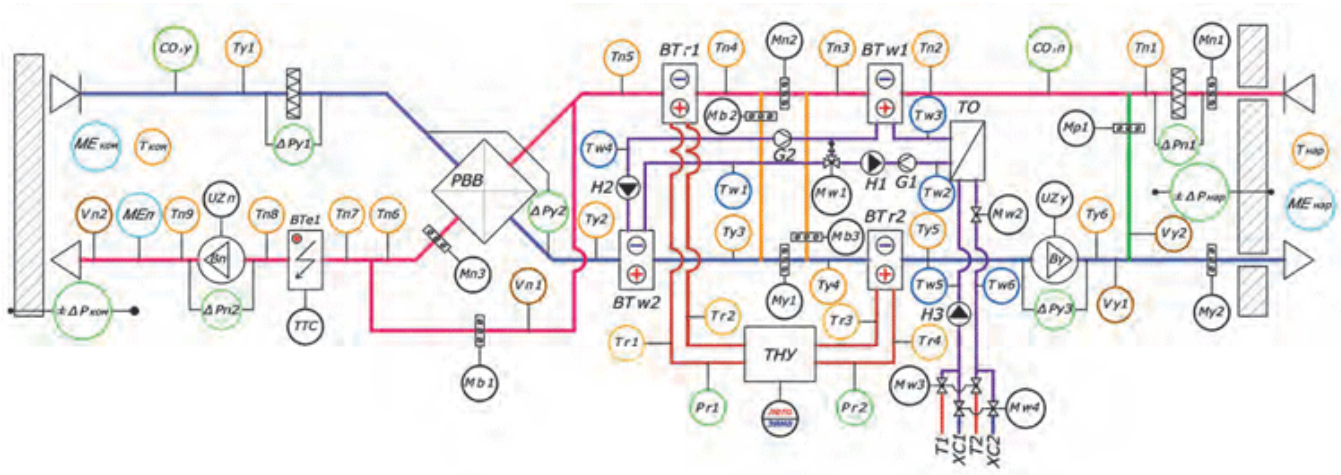


Рисунок 1 - Принципиальная схема СОМ (без камеры увлажнения)

Список литературы

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич. – Киев: Издательство «Видавничий будинок», 2005. – 560 с.

2. Кувшинов Ю. Я. Динамические свойства помещения с регулируемой температурой воздуха // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1993. – № 4.

3. Мансуров Р. Ш. Экспериментальное исследование переходных процессов в системах обеспечения микроклимата / Сб. докладов 4-й международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М. : МГСУ, 2011.

4. Тарасов А.С. Система автоматического управления вентиляцией, воздушным отоплением и кондиционированием воздуха в помещении на базе отечественного контроллера // Главный энергетик. – 2010. – № 6. – С. 49–57

УДК 456.72

Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук, доцент каф. ТТГВ;
Масалкова Дарья Сергеевна,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

ОЦЕНКА ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ

За время эксплуатационного периода влажность во внешних ограждениях изменяется в течение года: весной количество влаги увеличивается, зимой - уменьшается. Накопление влаги играет значительную роль в создании внутреннего микроклимата, так как оказывает большое влияние на теплопотери и теплостойкость внешних ограждений. Благодаря использованию влагопотенциала в расчетах влагопереноса возможен количественный учёт влагосодержания конструкций в парообразном, жидком и твердом состояниях. В данной статье произведена оценка влажностного режима наружных ограждений здания на основе теории потенциала влажности. Такая оценка позволит более досконально учитывать количество влаги в строительных конструкциях.

Ключевые слова: влажность, потенциал влажности, влагоперенос, влажностный режим, анализ, влагосодержание, ограждающие конструкции.

Во внешних конструкциях обмен влаги протекает под влиянием разности температур, давлений, содержания влаги и сил, которые вызваны различными энергиями связи в граничащих материалах. Для анализа сложных процессов влагопереноса в наружных ограждающих конструкциях наиболее удобна физико-математическая модель, основанная на потенциале влажности. Использование этой модели даёт возможность рассмотреть процесс влагообмена в большом объёме влажности и температуры с учетом перемещения влаги в парообразном и жидком состояниях под действием всевозможных сил.

В отношении выбора потенциала переноса влаги единое мнение отсутствует, в отличие от переноса теплоты в наружных ограждениях, где потенциалом переноса является температура.

Метод расчета влажностного режима ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности содержит следующее [8]:

- рассматривается одномерный тепло- и влагоперенос в многослойной ограждающей конструкции, состоящей из n слоев различных материалов;
- принимают стационарные условия тепло- и влагопереноса в конструкции при фиксированных значениях температур и абсолютного потенциала влажности внутреннего и наружного воздуха;
- теплофизические характеристики отдельных материальных слоев в конструкции (коэффициенты теплопроводности λ и влагопроводности χ) постоянны в пределах данного слоя и ступенчато изменяются от слоя к слою;
- заданы граничные условия третьего рода – коэффициенты теплообмена и влагообмена на границах конструкции с окружающей средой.

В 1952 г. В.Н. Богословский разработал более полную оценку влажностного режима наружных ограждений на основе теории потенциала влажности [2, 4, 5]. Он разработал метод расчета влагопередачи в ограждающих конструкциях, основанный на потенциале влажности, который по физическому смыслу является «полным потенциалом». Благодаря этому по принятой шкале и методике определения можно учесть все силовые факторы, которые действуют на влагу. Перемещение влаги одновременно в парообразной и жидкой формах определяется градиентом потенциала влажности, а накопление влаги — влагоемкостью, выраженной посредством изменения потенциала влажности.

Довольно глубокий обзор истории происхождения и трансформации понятия потенциала влажности предложен в работе В.Г. Гагарина [7].

Потенциал влажности зависит от многих моментов: вида материала, степени влажности, давления, температуры и потенциалов различных силовых полей [4]. Вследствие чего данную величину возможно также измерять шкалой влажности, давления и с помощью других различных показателей. Тем не менее исключение воздействия в процессе этого измерения изменений других, факторов, от которых зависит величина потенциала, является неизбежным условием.

Основой определения потенциала влажности положено следующее допущение [4, 6], подтвержденное опытами. Если два влажных тела из разных материалов находятся во влажностном равновесии с третьим влажным телом из другого материала, то они находятся во влажностном равновесии друг с другом.

В.Н. Богословский предложил брать за эталон равновесную влажность материала при экспериментальном измерении влагоемкости. Это исключает влияние типа материала на результаты измерения. Температурное влияние устраняется изменением результата измерения на любую температуру в нормальных температурных условиях.

В качестве эталонного тела выбрана фильтровальная бумага, эталонная температура t_o = 20 °С. Шкала потенциала влажности В.Н. Богословского определяется формулой

$$\Theta_B = \left(\frac{w_o}{w_o^{m.s}}\right)_{t_o} 100, \quad (1)$$

где w_o – влагосодержание эталонного тела, кг/кг, при эталонной температуре t_o;

$w_o^{m.s}$ – максимальное сорбционное влагосодержание эталонного тела, кг/кг, при той же температуре.

Потенциал влажности В.Н. Богословского измеряется в градусах влажности (°В). Шкала потенциала влажности равномерная и построена по двум следующим точкам. Для сухой фильтровальной бумаги Θ_B = 0°В, при максимальной сорбционной влажности ее потенциал Θ_B = 100°В. Изменение потенциала влажности на 1°В соответствует изменению влажности фильтровальной бумаги на 0,01 ее максимальной сорбционной влажности при температуре +20°С. При максимальной сорбционной влажности все материалы имеют величину Θ_B = 100°В.

Измеряемый таким образом потенциал влажности является экспериментальным потенциалом, в отличие от теоретического, который определяется термодинамической функцией.

Для определения влагопотенциала строительного материала при заданной температуре и влажностном состоянии его приводят в контакт с фильтровальной бумагой при отсутствии влагообмена с окружающей средой. После установления равновесия влажности определяют равновесную влажность фильтровальной бумаги при эталонной температуре, используемой для определения потенциала влагоемкости строительного материала.

Экспериментально установлено [4], что потенциал влажности Θ_B характеризует влажностное состояние материалов в неизотермических условиях, а градиент потенциала $\nabla\Theta_B$ определяет влагоперенос.

Математическая модель на основе влагопотенциала В.Н. Богословского позволяет рассчитывать влажностный режим многослойных конструкций при различной влажности и температуре в сложных граничных условиях с учетом движения влаги в парообразном и жидком состояниях под действием различных сил, в том числе градиентов температуры. Стоит отметить, что использование фильтровальной бумаги в качестве эталона может привести к ошибкам в результатах измерения, так как её свойства зависят от условий эксперимента. Также следует обратить внимание на то, что измерение с помощью фильтровальной бумаги очень трудоемко. Кроме того, для большинства строительных материалов в потенциальном влагораспределении отсутствуют теплофизические свойства, что затрудняет внедрение метода расчета влажностного режима на основе этой шкалы в

инженерную практику.

Также сложность зависимости $w(\Theta_B, t)$ вызывает затруднения в применении шкалы потенциала влажности Θ_B. Возникает необходимость в показателе, зависящем от потенциала влажности, температуры и однозначно определяющем влагосодержание материала. Е.И. Тертичник [1] предложил шкалу относительного потенциала влажности φ_Θ, определяющуюся по формуле:

$$\varphi_\Theta = \frac{k_1\Theta_B + k_2}{k_3\Theta_B^{m.s} + k_4}, \quad (2)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты,

$\Theta_B^{m.s}$ – максимальный сорбционный потенциал влажности, °В.

Шкала относительного потенциала влажности позволяет изотерме сорбции достигать области сверхпоглощающей влаги материала, то есть оценить влагостойкость материалов в широком диапазоне влажности. Относительный потенциал влажности является общим показателем и подходит для оценки состояния влажности внутренней среды, материалов и наружного климата.

Б.В. Абрамовым был определён потенциал влажности наружного климата[3]. Этот потенциал является комплексным показателем сложных теплового и влажностного воздействий внешних факторов на ограждение и характеризуется только произвольным их сочетанием, а также не зависит от материала ограждающих конструкций.

Еще одна шкала потенциала влагопереноса Θ_L была предложена А.В. Лыковым, она измеряется в массообменных градусах (°М), как и шкала В.Н. Богословского также основана на равновесной влажности фильтровальной бумаги, их отличие заключается в том, что потенциал, предложенный Лыковым, определяет влажностное состояние материалов в изотермических условиях. Шкала потенциала влагопереноса определяется по формуле:

$$\Theta_L = \left(\frac{w_o}{w_o^{m.s}}\right)_t \quad 100, \quad (3)$$

где w_o – влагосодержание эталонного тела, кг/кг, при эталонной температуре t ; $w_o^{m.s}$ – максимальное сорбционное влагосодержание эталонного тела, кг/кг, при той же температуре.

Применение экспериментального определения изотермического потенциала влагопереноса Θ_L значительно проще, и всё же при использовании потенциала влагопереноса Θ_L существенно усложняется математическая модель влагопереноса в наружных ограждениях. Помимо этого, данной шкале свойственны все недостатки, связанные с применением в качестве эталонного тела фильтровальной бумаги.

Наиболее удобным и хорошо разработанным является относительный потенциал влагопереноса Θ_o, °В, предложенный А.Г. Перехоженцевым.

$$\Theta_o = \frac{\Theta_a}{\Theta_a^{max}} 100, \quad (4)$$

где Θ_a – абсолютный потенциал влагопереноса, определяемый поформуле:

$$\Theta_a = RT\ ln\left(1 - \frac{p}{p_s}\right), \quad (5)$$

где R – газовая постоянная для водяного пара, Дж/(кг·К);

T – температура, К;

p – парциальное давление водяного пара в материале, Па;

p_s – давление насыщенного водяного пара, Па;

Θ_a^{max} – значение абсолютного потенциала при p/p_s, соответствующем заполнению влагой пор радиусом до 0,1 мм по механизму капиллярной конденсации.

Относительный потенциал влагопереноса Θ_o способствует тому, чтобы производить расчеты влажностного режима ограждающих конструкций в широком диапазоне влажности в изотермических условиях. Здесь в качестве эталонного тела используется влажный воздух, в отличие от фильтровальной бумаги его свойства стабильны. Это повышает точность определения потенциала и позволяет в достаточной степени определить теплофизические характеристики материалов, которые необходимы для расчета влажностного режима

ограждающих конструкций. Между тем потенциал Θ_o является характеристикой состояния влаги в материале в изотермических условиях, а влагоперенос в общем случае определяется градиентом потенциала влажности и градиентом температуры. Эта особенность существенно усложняет математическую модель влагопереноса и затрудняет разработку методов расчета влажностного режима ограждающий конструкций. На фоне этого возникает необходимость в определении универсального потенциала влажности, который бы подходил и для оценки влажностного состояния материалов наружных ограждений, и для решения проблемы влагопереноса в неизотермических условиях.

Использование теории потенциала влажности в расчёте влажностного режима через ограждающие конструкции позволяет в одно время учитывать как перемещение жидкой, так и парообразной влаги под действием градиента потенциала влажности в условиях нестационарной влагопередачи. Благодаря данной теории становится возможным повысить надёжность и долговечность строительный конструкций, а также поддерживать оптимальные параметры микроклимата помещений. На основе анализа теории потенциала влажности можно сделать вывод, что метод требует усовершенствования.

Список литературы

1. Богословский, В.Н. Выбор теплофизических характеристик строительных материалов для расчетов теплопередачи через ограждающие конструкции / В.Н. Богословский, Е.И. Тертичник // Вопросы тепловлажностного и воздушного режимов кондиционирования микроклимата: сб. науч. трудов. – М. : МИСИ, 1970. – С. 16–24.
2. Богословский, В.Н. Исследование температурно-влажностного режима наружных ограждений методом гидравлических аналогий : дис. … канд. техн. наук / Богословский Вячеслав Николаевич. – М., 1954.
3. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 1979. – 248 с.
4. Богословский, В.Н. О потенциале влажности / В.Н. Богословский // Инженерно-физический журнал. – 1965. – Т. 8. – № 2. – С. 216–222.
5. Богословский, В.Н. Термодинамика влажного материала / В.Н. Богословский // Вопросы тепловлажностного и воздушного режимов кондиционирования микроклимата : сб. науч. трудов. – М. : МИСИ, 1970. – С. 5–15.
6. Гагарин, В.Г. История возникновения и трансформации понятия «потенциала влажности» от Ч. Слихтера до В.Н. Богословского / В.Г. Гагарин // Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях (Академ. чтения, посвященные памяти В.Н. Богословского) : сб. докл. 6-й науч.-практ. конф. – М. : НИИСФ РААСН, 2001. – С. 333–340.
7. Корниенко, С. В. Метод инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций на основе потенциала влажности / С. В. Корниенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. №2. – С. 46–48.

УДК 697.521

Монах Светлана Игоревна,
кандидат технических наук, доцент каф. ТТГВ;
Комиссаренко Ольга Олеговна,
магистрант гр.ЗТГВм-52а каф. ТТГВ
Мережко Павел Евгеньевич,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В данной статье анализируются перспективы и возможности использования солнечных фотоэлектрических модулей для малоэтажных зданий. Целью данной работы является обоснование применения активных гелиосистем для автономного энерго- и теплоснабжения малоэтажных зданий, что, безусловно повышает их энергоэффективность и открывает возможности к независимости от углеводородного топлива в селитебной зоне.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, пассивная гелиосистема, активная гелиосистема, солнечный фотоэлектрический модуль, плоский коллектор, фотоэлектрический генератор, номинальное напряжение, сравнительный анализ.

Развитие строительства частных малоэтажных зданий с использованием современных строительных материалов и оборудования инженерно-технических систем, которые обеспечивают высокий уровнь комфорта в помещениях, невозможно без использования энергоэффективных мероприятий.

Известно, что наиболее важной, дорогостоящей и знергозатратной системой инженерного обеспечения любого жилого здания является система отопления и горячего водоснабжения.

В настоящее время при централизованном теплоснабжении, в зависимости от состояния теплопроводов, потери в теплотрассах в большинстве регионов РФ достигают 20 – 50%, что приводит к росту дефицита энергетических мощностей.

В настоящее время доказано абсолютное преимущество децентрализованного теплоснабжения для малоэтажного строительства, т.к. полностью исключаются функции транспортировки теплоносителя, ликиируются службы содержания котельных и теплотрасс, повышется надежность и качество регулирования отопительной системы, исключаются сезонные аварийные ситуации, сокращаются вредные выбросы в атмосферу, улучшается экологическая обстановка в селитебной зоне.

В ряде работ многих авторов, таких как В.С. Горбачев, А.М. Окландер, А.Л. Наумов, А.О. Шацков и др. убедительно доказано, что применение децентрализованного электроотопления с энергоэффективными инженерными системами, например, инверторными сплит-системами или инфракрасными обогревателями, вместо традиционного водяного отопления существенно сокращает капитальные и эксплуатационные затраты.

Инверторные сплит-системы, электроконвекторы, инфракрасные обогреватели, термостаты с микропроцессорными регуляторами создают экономически выгодный тепловой комфорт помещений.

Можно отметить следующие несомненные преимущества электроотопления: учет только затраченной электрической энергии; возможность качественного регулирования температурного режима в помещениях (без запаздывания); выход из строя одного отопительного прибора не приводит к отключению всей отопительной системы.

Известно, что существует система маркировки энергоэффективности инженерного электрооборудования. На основе анализа и тестирования энергопотребления в группе изделий (холодильники, стиральные машины, электрокотлы, инфракрасные обогреватели и т.д.)

каждому из них присваиается класс энергоэффективности, который указывается в технической документации.

Общеприняты, в том числе в РФ, 7 классов энергоэффективности, от А (самый энергоэффективный класс) до G – класс с самым высоким уровнем энергопотребления. В развитых странах, в том числе в РФ, введены ограничения на производство и импорт энергоемкой техники, в частности изделий классов энергоэффективности F и G.

На основе анализа работ Беляева В.С., Табунщикова Ю.А., захаровой Т.В., Соловьева А.К., Данилевского Л.П., Афанасьевой О.К., и др. наиболее эффективным методом энергосбережения является использование солнечной энергии в зданиях путем применения пассивных и активных гелиосистем [28-31].

Под пассивной гелиосистемой понимают: рациональную ориентацию объемно-планировочного решения дома по сторонам горизонта; максимальное использование теплофизических свойств конструкций самого здания для накапливания и хранения тепла; применение принципов теплового зонирования внутреннего пространства (буферных зон); применение систем прямого и косвенного обогрева солнечнной энергией (остекленных зон, массивных стен Тромба). Идея пассивного дома заключается в обеспечении равенства тепловых потерь здания в отопительный период и тепловой мощности бытовых тепловыделений, поступлений теплоты солнечного излучения, теплопоступлений от внутренних источников тепла.

При температуре наружного воздуха ниже средней за отопительный период система отопления пассивного дома играет вспомогательную роль. Системы энергообеспечения пассивного здания (системы теплоснабжения и электроснабжения) должны потреблять в год на 1 $м^2$ полезной площади здания не более чем 40 – 70 кВт·ч [1].

Практика создания и развития пассивных домов стимулировала настоящий прорыв в области энергоэффективных строительных технологий и материалов.

Под активной гелиосистемой понимается создание специальных технологических устройств, размещаемых в здании или на прилегающем участке, и преобразующих солнечную энергию в электрическую или тепловую.

В качестве технологического оборудования в активных гелиосистемах применяют солнечные тепловые коллекторы (СТК) и солнечные фотоэлектрические модули (СФМ), которые устанавливают на крыше, на южной или юго-западной стороне здания. Для получения наибольшего количества солнечной радиации солнечные коллекторы устанавливают с углом наклона равным географической широте, на которой расположено здание. При этом и СТК и СФМ располагают в непосредственной близости от места потребления энергии с целью минимизации потерь энергии при транспортировке.

По принципу конструктивного исполнения каждый СФМ состоит из совокупности солнечных элементов (полупроводников), изготавливаемых чаще всего из кристаллического монокремния, поликремния или аморфного кремния; теллурида кадмия (CdTe); медьиндий-диселинида (CuZnSe); гетероэлетрика и других тонкопленочных структур. КПД СФМ в зависимости от материала изготовления варьируется в пределах от 6 до 54%.

Наибольшее распространение в России получили модули, изготавливаемые из моно- или поликристаллических кремниевых элементов.

По напряжению СФМ различают с низким напряжением до 14,5 Вт, с средним до 16 Вт и высоким напряжением до 17,5 Вт в зависимости от климатической зоны их использованя. СФМ с высоким напряжением эффективны для использования в жарком климате.

Все солнечные модули изготавливают в плоских коллекторах с возможным применением контроллеров и следящих устройств. Солнечные элементы с номинальным напряжением 12 Вт соединяются последовательно и собираются в модули. Полученный пакет модулей обрамляют в алюминиевую раму и крепят к несущей опорной конструкции.

Для получения необходимой мощности и рабочего напряжения модули соединяют последовательно или параллельно. Таким образом получают солнечный фотоэлектрический генератор (СФГ). При этом нужно учитывать, что суммарная мощность генератора будет

меньше суммарной мощности составляющих его модулей из-за потерь, обусловленных различиями в характеристиках однотипных модулей, и потерь на рассогласование. Так, при соединении 10 модулей последовательно с разбросом характеристик 10% потери составляют 6%, а при разбросе 5% потери составят до 2%.

Потери обусловлены прежде всего тем, что при затенении одного модуля или его части, этот модуль (элемент) начинает рассеивать производимую освещенными модулями (элементами) мощность, быстро нагревается и выходит из строя. Для устранения этой ситуации параллельно с каждым модулем устанавливают шунтирующий диод. Шунтирующий диод необходимо устанавливать при последовательном соединении более двух модулей. К каждой линии последовательно соединенных модулей подключается блокирующий диод, выравнивающий напряжение этих линий.

Модули обычно устанавливают на стальных или алюминиевых опорах и могут быть размещены непосредственно на земле, на крыше или на фасаде здания. При установке на крыше или на фасаде здания СФГ могут служить одновременно кровельной или затеняющей конструкцией. Пример установки СФГ на фасаде здания коттеджного типа приведен на рис. 1.

Рисунок 1 - Пример установки СФГ на фасаде здания коттеджного типа

В летний период избыток дневной солнечной энергии аккумулируется электроаккумулятором и используется в ночное время или в пасмурные дни.

На основе СФГ вполне можно осуществить автономное энергообеспечение и теплоснабжение малоэтажного здания. Современные СФГ работают и в пасмурные дни, но конечно, с меньшей производительностью, составляющей 60% при переменной облачности и 10-20% в дождь [2, 3, 4]. Также следует учитывать, что загрязнение поверхности СФГ снижает его производительность в течение лета на 10-20%.

Необходимо отметить, что технология изготовления СФГ непрерывно усовершенствуется. Так, российские ученые Научного центра прикладных исследований Объединенного института ядерных исследований разработали так называемую «звездную батарею».

Звездная батарея выдает электрическую мощность круглосуточно. Выдаваемая мощность с 1 м^2 батареи составляет 600 Вт, при интенсивности солнечного излучения 1300 Вт

на 1 м^2. КПД звездной батареи составляет 54% энергии видимого излучения и 31% невидимого спектра излучения.

Сравнительный анализ энергетической эффективности различных СФМ на основе тонкопленочных структур, применение которых возможно для повышения энергоэффективности малоэтажных зданий приведен на рис.2.

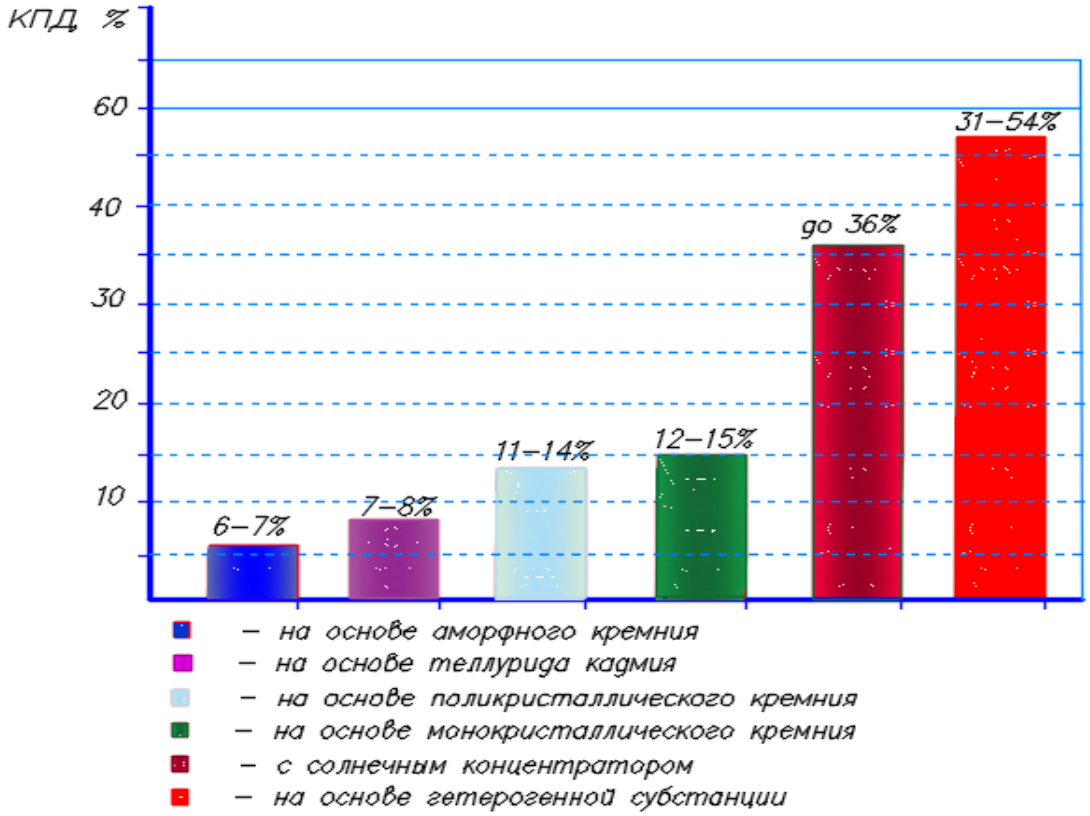


Рисунок 2 - Сравнительный анализ энергетической эффективности различных СФМ

Звездные батареи, являясь современными солнечными фотоэлектрическими генераторами могут вполне успешно конкурировать в цене с традиционными системами энергоснабжения и теплоснабжения.

Активные гелиосистемы широко применяются в странах ЕС, США, Израиле, Китае, Японии, Австралии, Турции и на Кипре. В России тенденции к применению активных гелиосистем наблюдаются на побережье Черного и Азовского морей, что связано с развитием курортного бизнеса.

Активные солнечные системы безусловно перспективны для автономного энерго- и теплоснабжения малоэтажных зданий, что открывает возможности к независимости от углеводородного топлива в селитебной зоне.

Список литературы

1. Данилевский Л.П. Пассивный дом – основное направление энергоэффективного строительства // «Архитектура и строительство», ноябрь 2006 г. http://www.ais.by/content/view/981/120.
2. http://www.solarhome.ru/ru/pv/index.htm.
3. http://www.spektr.info/info/news/2008/10/20/7896.
4. http://www.thermonews.ru/news/news. jsp?id_theme=off&id=5876.

УДК 697.9

Монах Светлана Игоревна,
кандидат технических наук, доцент каф. ТТГВ;
Мережко Павел Евгеньевич,
магистрант гр.3ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Комиссаренко Ольга Олеговна,
магистрант гр.3ТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА КОЛИЧЕСТВЕННУЮ ОЦЕНКУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

В данной статье предложена методика определения среднемесячного суточного расхода тепловой энергии на обработку воздуха системами вентиляции и кондиционирования для каждого месяца охладительного периода. Целью данной работы является создание алгоритма более точного расчета энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха с учетом климатических условий.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, вентиляция и кондиционирование воздуха, климатические показатели, годичные изменения, интенсивность солнечной радиации термодинамическая обработка воздуха, энтальпия внутреннего воздуха, среднемесячный суточный расход тепловой энергии.

В основе определения режима работы различных систем создания внутренних климатических условий лежит модель годичного изменения характерных параметров наружного климата. Годичный ход изменения климатических параметров в особенности важен для таких систем создания внутреннего климата, как системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Существует множество моделей годичного изменения параметров наружного воздуха, которые условно можно разделить на две группы.

Первая группа моделей основывается на описании годичного хода среднемесячных параметров. Эти модели, как правило, представляются в виде таблиц, графиков или аналитических записей. Примером такой модели наружного климата считается так называемый представительный год (Testreferenzjahr или «TRJ») – где содержится довольно объемная и объективная климатологическая информация. Применение этого метода предполагает использование вычислительной техники.

Вторая группа представления климатической информации предполагает обработку срочных изменений климатических параметров в виде функций распределения параметра.

Функции распределения заданы в виде таблиц, графиков или аналитически [1, 2]. Эта группа характеристики наружного климата имеет некоторые особенности:

1) необходима сложная обработка метеорологических данных;

2) появляются затруднения, возникающие из-за необходимости оперирования двумерным распределением параметров.

Однако вторая группа моделей климата имеет преимущество над первой, которое заключается в том, что в информации о параметре лежит весь спектр его изменения.

Недостатком первой модели является то, что при осреднении параметров наружного климата имеющийся интервал изменения параметров сокращается. С другой стороны, осреднение позволяет выделить основную закономерность изменения параметра во времени, вытекающую из физической сущности процессов, формирующих климатический параметр, что является несомненным преимуществом первой группы моделей.

Средние значения климатических параметров вполне применимы для анализа годичного режима работы систем отопления, вентиляции и системы кондиционирования воздуха, поскольку переход от режима к режиму возникает при «умеренных» значениях характеристик. Только некоторые режимы работы систем, которые не являются показательными с позиции энергопотребления, протекают при значениях характеристик климата, близких к расчетным.

Можно утверждать, что при расчете годичных расходов энергии системами создания внутреннего микроклимата нет необходимости вовлекать в анализ значения характеристик, которые близки к экстремальным, что подтверждено рядом научных исследований. Так Ю. Мазух [3] доказал незначительное несоответствие результатов расчета годичного расхода энергии по двум группам моделей, что подтверждает возможность применения осредненных климатических параметров.

Таким образом для анализа режима работы систем обеспечения микроклимата рекомендуется оперировать многолетними усредненными климатическими данными, главным достоинством которых является больший объем достоверных данных [4].

Анализ годичного изменения тепловой мощности систем обеспечения микроклимата ведется в эксплуатационных условиях, характеризующихся изменением характеристик наружного климата на протяжении суток и года в диапазоне от расчетных летних до расчетных зимних и наоборот.

Климатологические данные, публикуемые в современных источниках, основываются на измерении климатических параметров, проводимых на метеостанциях, где измеряют: температуру воздуха и поверхности грунта, скорость и направление ветра, относительную влажность воздуха и барометрическое давление, интенсивность прямой и рассеянной радиации на горизонтальную плоскость.

На основании этих данных проводится расчет парциального давления водяного пара, влагосодержания и энтальпии воздуха, интенсивность радиации на наклонные и вертикальные поверхности различной ориентации.

Для пересчета измеряемой интенсивности прямой радиации на поверхность применяются формулы стереометрии. Значения интенсивности излучения на горизонтальную, наклонную и вертикальную поверхности выражается как функция соответствующего угла

$$S_j = S_u \cdot \cos\theta, Bm/м^2, \quad (1)$$

где S_u- интенсивность прямой радиации на нормальную к лучам поверхность, Вт/м^2;

θ - угол между лучом солнца и нормалью к поверхности, град.

Величина cos θ равна

$$\cos\theta = \cos\alpha_c \cdot \cosh, \quad (2)$$

где α_c - солнечный азимут поверхности,

h - высота стояния солнца, град.

Относительно углов, определяющих положение солнца на небосводе, величина cos θ равна

- для вертикальной поверхности:

$$\cos\theta = \cos\alpha \cdot (\cos\delta \cdot \cos\beta \cdot \sin\varphi - \sin\delta \cdot \cos\varphi) + \sin\alpha \cdot \cos\delta \cdot \sin\beta, \quad (3)$$

- для горизонтальной поверхности:

$$\cos\theta = \cos\delta \cdot \cos\beta \cdot \cos\varphi + \sin\delta \cdot \sin\varphi, \quad (4)$$

- для наклонной поверхности:

$$\cos\theta = \cos\theta_{гор} \cdot \cos\Delta + \cos\theta_{гор} \cdot \sin\Delta, \quad (5)$$

где α - азимут поверхности, град;

β - часовой угол, град;

δ - склонение солнца, град;

φ - широта местности, град;

Δ - угол наклона поверхности к горизонту, град.

Формулы (1 - 5), справедливы для безоблачного неба, однако, без особой погрешности их можно использовать для условий, характерных для осредненных многолетних данных. При этом надо иметь в виду, что при пересчете среднесуточных значений интенсивности следует учитывать нелинейность формул (1 - 5). Значения углов α_c и h соответствующие среднеинтегральным значениям cos θ, определяются по формулам

$$\alpha_{\Sigma} = a + b\varphi; \tag{6}$$

$$h_{\Sigma} = a + b\varphi, \text{град}, \tag{7}$$

где φ - географическая широта местности, град.

Значения коэффициентов a и b для расчета среднеинтегральных значений солнечного азимута и высоты стояния солнца приведены в климатических справочниках.

Сумма рассеянной и отраженной радиации называется диффузной радиацией. В расчете принимают отраженную радиацию в количестве 20 % от рассеянной на горизонтальную. Эта величина соответствует среднему альбедо поверхности земли (альбедо асфальта 18,5 %, старого снега 46 %, травы 19-26 %, пашни 14-26 %, леса 12-19 %). Альбедо – это отношение отраженного потока энергии к падающему, в %.

При расчете интенсивности рассеянной радиации следует учитывать, что облученность вертикальной поверхности небосводом составляет 0,5, а горизонтальной 1.

С учетом изложенного получена формула для расчета диффузной радиации на произвольно расположенную поверхность

$$D = D_r \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \cos\Delta + 0.2 \cdot \sin\Delta), \tag{8}$$

где D_r - интенсивность рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м^2;

Δ - угол наклона поверхности к горизонту, град.

Параметры климата изменяются на протяжении суток и года, при этом сохраняют некоторые закономерности. Данное обстоятельство позволяет сократить объем климатологической базы данных о суточном и годовом ходе параметров, используя в расчете средние за время работы системы (за смену) или среднесуточные значения параметров наружного климата.

Так, интенсивность прямой и диффузной солнечной радиации имеет прерывистую функцию суточного хода, близкую к половине косинусоиды с периодом, равным удвоенной продолжительности действия радиации.

Для описания суточного хода в этом случае достаточно располагать значениями среднесуточной и максимальной за сутки величин или среднесуточной величины интенсивности и продолжительности действия радиации в течение суток.

Суточный ход температуры и энтальпии наружного воздуха в различных климатических зонах оказывается близким к гармоническому с периодом 24 часа и максимумом около 15 часов по истинному времени

$$t_н = t_{н,о} + A_t \cdot \cos 15 \cdot (\tau - 15), \tag{9}$$

где $t_{н,о}$ - среднесуточное значение наружной температуры, °С;

A_t - суточная амплитуда параметра;

Т- время, ч.

Учитывая, что влагосодержание наружного воздуха в течение суток изменяется не значительно, можно считать суточную амплитуду энтальпии численно равной амплитуде температуры. Годовой ход параметров наружного климата описывается тригонометрическим рядом в функции времени в исчислении от 1-го января. Это сокращает объем климатологической информации до минимума

$$Y = Y_o + \sum a_k \cdot \cos\omega \cdot k \cdot \tau + \sum b_k \cdot \sin\omega \cdot k \cdot \tau, \tag{10}$$

где Y_o - среднегодовое значение параметра;

α_k и b_k - амплитуды гармоник;

k - порядковый номер гармоники (в данном случае от 1 до 6);

ω - частота колебания, равная ω =π/182, если τ - время исчисляется в сутках от 1 января или ω =π/6 при τ = n - 1, где n - порядковый номер месяца.

В климатических справочниках [4] приводятся среднемесячные значения интенсивности прямой и диффузной солнечной радиации на горизонтальные и вертикальные поверхности разной ориентации.

Значения влагосодержания d, г/кг, и энтальпии I, кДж/кг, наружного воздуха можно получить по формулам

$$d = 622 \cdot \frac{P_П}{P_Б - P_П}, \tag{11}$$

$$I = 1,005 \cdot t + \frac{(2500 + 1.8 \cdot t) \cdot d}{1000}, \tag{12}$$

где $P_П$ и $P_Б$ - соответственно парциальное и барометрическое давление воздуха, гПа;

t - температура воздуха, °С.

В соответствии с основным уравнением теплопередачи трансмиссионный тепловой поток, проходящий через массивные ограждения, равен

$$Q_{ТР} = k_1 \cdot F_1 \cdot (t_{усл} - t_П), Вт, \tag{13}$$

где k_1 - коэффициент теплопередачи массивного ограждения, Вт/м$^{2 \cdot 0}$С ;

F_1 - площадь ограждения, м^2;

$t_{усл}$ - среднесуточная условная температура, °С;

$t_П$ - температура помещения, °С.

Условная температура учитывает тепло солнечной радиации, поглощенное поверхностью ограждения

$$t_{усл} = t_{нар} + \frac{pq}{\alpha_н}, \tag{14}$$

где p - коэффициент поглощения тепла солнечной радиации поверхностью;

q - интенсивность суммарной солнечной радиации, Вт/м^2;

$t_{нар}$ - результирующая температура наружной среды, °С;

$\alpha_н$ - коэффициент теплообмена на наружной поверхности, Вт/м$^2 \cdot$°С.

$$\alpha_н = 5,2 + 2,1 \cdot v, \frac{Вт}{м^2 \cdot {}^0С} \tag{15}$$

Проходящий через окно тепловой поток за счет теплопередачи равен

$$Q_{ТР} = k_2 \cdot F_2 \cdot (t_{нар} - t_П), Вт, \tag{16}$$

где k_2 - коэффициент теплопередачи окон, Вт/м$^{2 \cdot 0}$С;

F_2 - площадь окна, м^2.

В инженерных методах расчета вместо температуры помещения $t_П$ в формулы (13) и (16) подставляют температуру внутреннего воздуха $t_в$, а вместо результирующей наружной температуры $t_{нар}$ - температуру наружного воздуха $t_н$.

Помимо трансмиссионного теплового потока через невоздухоплотные окна и другие неплотности в наружных ограждениях проходит так называемый инфильтрационный тепловой поток, обусловленный нагревом инфильтрующегося наружного воздуха:

$$Q_И = \frac{1}{3.6} \cdot A \cdot F_2 \cdot G_И \cdot (t_Н - t_В), Вт, \tag{17}$$

где A - коэффициент рекуперации:

A = 0,9 - для окон с раздельными переплетами и тройным остеклением;

A = 1 - для остальных случаев;

$G_И$- расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч·м^2.

В инженерных методах расчета пользуются формулой расчета расхода воздуха, проходящего через неплотности окон [5]

$$G_{И} = \frac{1}{R_{и}} \cdot (\frac{\Delta P}{10})^{\frac{2}{3}}, \frac{кг}{ч \cdot м^2}, \quad (18)$$

где $R_и$ - сопротивление воздухопроницанию, $\frac{ч \cdot м^2}{кг}$;

ΔР - разность давления воздуха снаружи и внутри здания, Па.

В простейшем случае сбалансированного притока и вытяжки в здании высотой Н, м, при одинаковом воздухопроницании обоих фасадов, разность давления на высоте h_i, м, снаружи и внутри здания [5]

$$\Delta P_i = (\frac{H}{2} - h_i) \cdot (\gamma_н - \gamma_в) + 0,25 \cdot \nu \cdot (k_н - k_з), Па \quad (19)$$

где $\gamma_н$ и $\gamma_в$ - объемный вес наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3;

$k_н$ и $k_з$ - аэродинамические коэффициенты на наветренной и заветренной сторонах здания;

v - скорость ветра, м/с.

Суммарные теплопоступления от солнечной радиации через окно

$$Q_{П} = F_{ОК} \cdot (S \cdot \overline{\beta} \cdot \beta_{ОП} \cdot \overline{F_{ОК}} + D \cdot \beta_{ОД}) \cdot \beta_{З}, \quad (20)$$

где индексами «П» и «Д» обозначены коэффициенты для прямой и диффузной радиации.

Основной характеристикой, используемой в расчетах, служит коэффициент проникания радиации β, состоящий из двух частей

$$\beta = \beta_o \cdot \overline{\beta}, \quad (21)$$

где β_0 - максимальное значение коэффициента (при θ = 0);

$\overline{\beta}$ - функция зависимости коэффициента от профильного угла (для диффузной радиации $\overline{\beta}$ = 1).

Коэффициент β_0 зависит от толщины стекла δ, мм

$$\beta_o = c - d \cdot \delta \quad (22)$$

Значения коэффициентов с и d приведены в таблице 1.

Исходя из экспоненциальной зависимости ослаблени1я луча света в поглощающей среде, моно воспользоваться формулой, дающей погрешность аппроксимации не более 2 %

$$\overline{\beta} = (\cos\theta)^{0.88} \cdot e^{(1-\cos\theta)} \quad (23)$$

Затенение части стекла оконными откосами или горизонтальными и вертикальными стационарными солнцезащитными устройствами учитывают с помощью коэффициента затенения:

$$\overline{F_{ок}} = (1 - \frac{l}{L} \cdot tg\alpha_c) \cdot (1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{tgh_c}{\cos\alpha_c}), \quad (24)$$

где l, h - размеры затеняющего выступа, м;

L, H - размеры окна, м.

Таблица 1 - Коэффициенты проникания и отражения

Вид радиации	Значения коэффициентов с и d для расчета одинарного переплета							
	Одинарное остекление				Двойное остекление			
	проникания β_o		отражения ρ_o		проникания β_o		отражения ρ_o	
	A	B	a	b	A	B	a	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прямая	0,885	0,015	0,104	0,001	0,765	0,014	0,186	0,004
Диффузная	0,756	0,015	0,217	0,002	0,632	0,013	0,32	0,008

В инженерных методах расчета снижение теплопоступления от солнечной радиации для окон с более чем одним стеклом и солнцезащитой в конструкции окна принято учитывать с помощью коэффициента солнцезащиты $\beta_З$ в формуле (20).

При расчете коэффициента затенения можно использовать формулу (24), подставив в нее значения h_Σ и α_Σ.

Среднемесячные значения тепловых потоков от прямой и диффузной солнечной радиации, проходящих через одинарное остекление могут быть рассчитаны по методике, изложенной выше на основе климатических данных.

Количественная оценка энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха производится по величине суммарного годового расхода энергии этими системами. Годовой расход энергии представляется наиболее объективным энергетическим показателем, т. к. именно в годовом цикле в полной мере проявляются все режимы потребления энергии.

Целесообразно разделить расход энергии системами вентиляции и кондиционирования в годичном цикле на две части. Первая часть - это расход энергии на поддержание температурных условий в помещении в теплый период, т.е. расход энергии на охлаждение. Вторая часть энергии расходуется на термодинамическую обработку воздуха в установках вентиляции или кондиционирования воздуха.

Для того, чтобы определить годовой расход холода систем вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо интегрировать функции времени года потребляемой холодильной мощности в пределах охладительного периода. Для этого необходимо сформулировать принцип определения границ охладительного периода, подразумевая его как период потребления искусственного холода. Предлагается считать охладительным периодом часть теплого времени года, в течение которого энтальпия наружного воздуха выше минимального значения энтальпии охлажденного воздуха, так как за пределами этого периода охлаждение помещения можно проводить наружным воздухом без его охлаждения. Поэтому временные границы периода определяются из функции годового хода энтальпии наружного воздуха пересечением графика функции с изоэнтальпой $I_{о.мин.}$. Минимальная энтальпия охлажденного воздуха определяется для точки, которая лежит на линии 95% относительной влажности и удовлетворяет условиям

$$I_O = I_B + 3,6 \cdot \frac{Q_{С,П}}{G_O} \quad \text{и} \quad d_O = d_B - \frac{W}{G_O}, \tag{25}$$

где индексом «в» обозначены параметры внутреннего (уходящего) воздуха;

$Q_{С.П.}$- нагрузка на систему кондиционирования воздуха по полному теплу, Вт;

W – избытки влаги в помещении, г/ч;

G_O - общий расход приточного воздуха, кг/ч.

Расход холода на охлаждение помещения определится по формуле

$$Q_{ОХЛ}^{ГОД} = \frac{n}{7} \cdot M \cdot \Delta\tau \cdot \sum_{N_1}^{N_2} Q, \tag{26}$$

где n - количество рабочих дней в неделю;

M - число дней в рассматриваемом месяце;

$\Delta\tau$ - суточная продолжительность рабочего времени системы охлаждения, ч;

N_1 и N_2- порядковые номера месяцев начала (1) и конца (2) охладительного периода;

Q - средняя за рабочее время суток холодильная мощность системы, Вт.

Для системы кондиционирования воздуха эта величина равна

$$Q_{ОХЛ}^{ГОД} = \frac{n}{7} \cdot M \cdot \Delta\tau \cdot \sum_{N_1}^{N_2} Q \cdot (1 - \frac{G_H}{G_O}), \tag{27}$$

где $G_Н$ - расход наружного воздуха, кг/ч.

Расход холода на охлаждение для систем охлаждения рассчитывается отдельно для рабочих и выходных суток.

Годовой расход холода на обработку воздуха определяется по формуле

$$Q_{ОХЛ}^{ГОД} = \frac{n}{7} \cdot M \cdot \Delta\tau \cdot \sum_{N_1}^{N_2} Q_m \cdot G_H, \text{Вт} \quad (28)$$

Среднемесячный суточный расход холода на обработку воздуха равен с учетом формулы (9)

$$Q_m = (I_{О.МИН.} - I_{Н.О.}) \cdot \Delta\tau - A_1 \cdot \frac{\pi}{12} \cdot \left[\sin\frac{\pi}{12} \cdot (\tau_К - 15) - \sin\frac{\pi}{12} \cdot (\tau_Н - 15) \right], Вт, \quad (29)$$

где параметры энтальпии наружного воздуха принимаются для каждого месяца охладительного периода.

Таким образом, можно определить среднемесячный суточный расход тепловой энергии на обработку воздуха для каждого месяца охладительного периода, что позволит более точно выполнить количественную оценку энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Список литературы

5. Сотников А.Г. Системы кондиционирования и вентиляции с переменным расходом воздуха. /А.Г. Сотников [Текст]. - Л.: Стройиздат, 1984. -249 с.

6. Успенская Л.Б. Математическая статистика в вентиляционной технике. /Л.Б. Успенская [Текст]. - М.: Стройиздат, 1980г. - 170 с.

7. Masuch J. Genanigkeit von Energieverbrauchsberehnung fur raumlufttechnische Anlagen bei reduzierter Wetterdatenmenge.// HLH 33(1992) №11, Nov.

8. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Дата введения 2021-25-06. Минстрой России, Москва 2013.

9. СП 50.13330.2012 ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Дата введения 2013-01-06. Минстрой России, Москва 2013.

УДК 697.326

Лежанко Владислав Дмитриевич
магистрант группы ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Шацков Артем Олегович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время наблюдается тенденция к децентрализации систем теплоснабжения. Это заключается в отказе от прокладки магистральных теплоцентралей с большой пропускной способностью в пользу автономных котельных малой мощности, обслуживающих жилые микрорайоны. В работе рассматриваются методы повышения эффективности котлов, включая применение вторичных излучателей, установку промежуточных излучателей и методы повышения эффективности сжигания низкосортного твердого топлива.

Ключевые слова: вторичные излучатели, промежуточные излучатели, повышение эффективности, сжигание низкосортных топлив.

Определение эффективности котельной установки должно начинаться с проведения энергоаудита. Этот аудит должен учитывать не только техническое состояние оборудования, но и структурные, организационные и экономические факторы, влияющие на его работу. В частности, следует определить количество закупаемой и самостоятельно вырабатываемой энергии, а также определить годовое потребление энергии. Также важно определить использование и распределение энергии, взаимосвязь между энергозатратами и показатели затрат на различные виды энергии (электричество, газ, мазут, вода, тепло, пар, воздух, охлаждение и т.д.). Для принятия обоснованного решения необходимо ответить на следующие вопросы [1]:

- месячное или ежедневное и почасовое потребление энергии и его производные с учетом сезонных колебаний энергопотребления;
- структура тарифов на электроэнергию, газ, топливо и тепло, с учетом систем оплаты.
- определение энергопотребления в зависимости от производственных и непроизводственных нужд, продукции или вида работ. Расчет баланса потребления электроэнергии по видам;
- оценка эффективности системы и оборудования путем визуального осмотра, необходимых измерений и проверки состояния оборудования;
- определение максимальной, средней и минимальной нагрузки;
- определение фактических и расчетных характеристик оборудования и систем для разработки планов действий;
- анализ мер по энергосбережению, ранее предпринятых компанией;
- изучение возможностей энергосбережения в текущей деятельности и их применимости;
- разработать варианты использования различного оборудования и технических систем и описывал возможности энергосбережения;
- рассчитать минимальные и максимальные затраты на предлагаемые варианты модернизации и переоборудования;
- рассчитать годовые затраты и экономию энергии для различных видов энергии;
- разработать предложения по эксплуатации источников тепла и мониторингу температурного состояния теплоиспользующего оборудования, оценили затраты, годовую экономию и сроки окупаемости;

- методы повышения эффективности источников тепла;

- усилия по повышению эффективности котельного оборудования с целью снижения потерь тепла за счет дымовых газов, потерь от химического и механического недожога и изоляции котельного оборудования и трубопроводов; механическое и химическое недогорание обычно решается путем экологической и тепловой коррекции оборудования или заменой котельной системы на более совершенную, кроме того, выработка и нормирование отработанного тепла также могут быть снижены путем установки современных, устойчивых к атмосферным воздействиям систем автоматики котлов,

- снижение температуры дымовых газов путем изменения режима работы не всегда возможно из-за конденсации влаги в оборудовании и дымоходах, перегрева недостаточного количества охлаждающей воды и неразумной эксплуатации котла.

Следует также отметить, что в предыдущих конструкциях котлов проектировщики старались снизить напряжение металла котла и обеспечить высокое техническое обслуживание, поэтому ориентировались на эксплуатацию котла при высоких температурах, не уделяя особого внимания экономии топлива и энергии. В результате, эксплуатируемое сегодня оборудование — это преимущественно водотрубные котлы с низким расходом котловой воды, которые не автоматизированы и часто оснащены примитивными горелками. Однако в нынешних экономических условиях использование этого оборудования не представляется возможным.

Поэтому необходимы технические меры для повышения эффективности работы котла, снижения выбросов и продления срока службы котла. Одной из таких технологий является использование устройств вторичных излучателей, устанавливаемых в топке котла [2, 3].

Важным показателем качества реакций химического превращения является скорость горения [1]. В промышленных установках интенсивность горения в камерной топке оценивается как θv (удельное тепловыделение) при единице объема системы, определяемое в кВт/м^3 и рассчитываемое по формуле

$$\theta_v = \frac{B\theta_\eta}{V}, \quad (1)$$

где B – расход топлива;

V – объём системы.

Исходя из этого, модернизация существующих установок направлена на изменение объема камеры сгорания. Это позволит локализовать реакцию горения, создать оптимальные условия для ее осуществления, поддерживать наиболее благоприятный режим работы, максимизировать КПД и снизить вредные выбросы в атмосферу. Известно, что интенсивность горения, которая определяется соотношением топлива, зависит не только от скорости химических реакций, но и от скорости образования смеси, которая определяется интенсивностью турбулентного потока и молекулярной диффузии. Эти условия обеспечиваются за счет организации рециркуляции внутренних отходящих газов топки котла.

Определение эффективности котельной системы должна начинаться с энергоаудита.

Эффективность и срок службы котла можно увеличить за счет установки промежуточных излучателей и улучшения аэродинамических и кинетических процессов в топке.

Значительной экономии тепла и повышения эффективности оборудования можно добиться путем усовершенствования гидравлической схемы.

При эксплуатации котельной следует уделять внимание водоподготовке и удалению воздуха из теплоносителя.

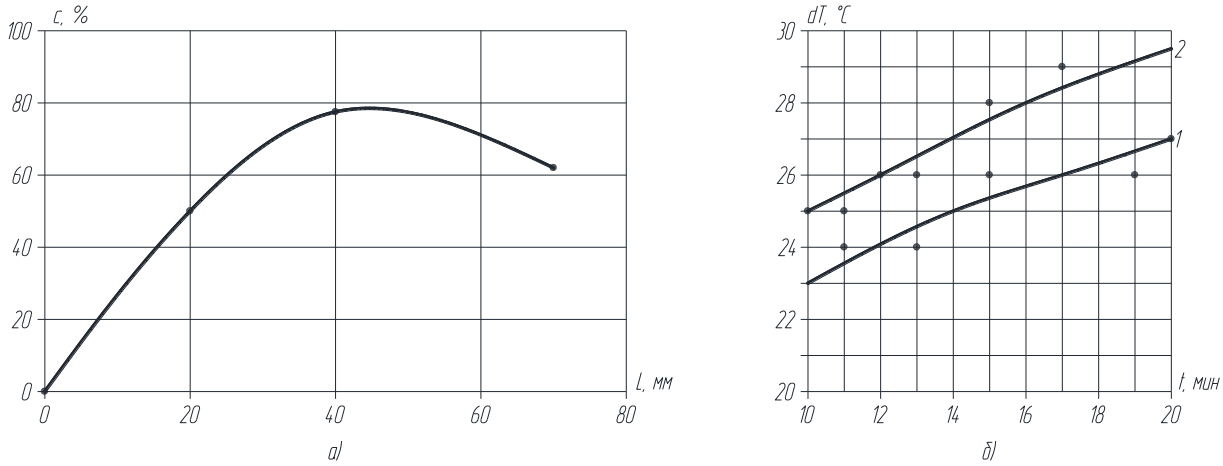


Рисунок 1 – Работа промежуточных излучателей в котлах с реверсивной топкой: а) зависимость коэффициента внутренней рециркуляции от ширины зазора (аналитический расчет); б) термодинамическое изменение соотношения температур подачи и обработки, 1 - без излучателя, 2 - с излучателем

Установка промежуточных излучателей в топке котла может улучшить теплообмен и снизить концентрацию NO_x в факеле горелки [2, 3].

Аналитические исследования показывают, что размер, расположение и материал промежуточного излучателя имеют решающее значение для интенсивности теплообмена. Введение промежуточных излучателей в камеру сгорания изменяет физические свойства, определяющие температуру продуктов сгорания, выходящих из камеры сгорания. Изменяется фактическая темнота камеры сгорания. Введение промежуточного излучателя уменьшает эффективную толщину слоя излучателя в топке, поскольку объем топки уменьшается на объем промежуточного излучателя, а площадь поверхности, окружающей объем излучателя, увеличивается на площадь поверхности излучателя. Следует отметить, что энтальпия продуктов сгорания на выходе из печи уменьшается, поскольку промежуточный излучатель обеспечивает дополнительный лучистый тепловой поток на поверхность экрана печи. Это также подразумевает снижение температуры [2, 3].

Наиболее распространенными современными методами снижения выбросов NO_x от источников тепла является рециркуляция продуктов сгорания обратно в зону горения, двухступенчатое сжигание, впрыск воды в зону горения, использование различных горелок с пониженными выбросами NOx, химические методы очистки отходящих газов от NO_x и использование промежуточных излучателей. В результате анализа был сделан вывод, что использование промежуточных излучателей является наиболее привлекательным методом с точки зрения ключевых показателей.

К недостаткам рециркуляции относятся [4]:

- необходимость специализированной очистки дымохода с рециркуляцией;
- некоторое снижение КПД котла и увеличение выбросов сажи;
- чрезмерное охлаждение рециркуляционного газа вокруг факела для достижения температуры, необходимой для контроля оксидов азота в топке, что приводит к нестабильному горению;
- увеличение затрат на электроэнергию на месте установки из-за необходимости использования большого количества рециркуляционного газа.
- увеличение потерь из-за дымовых газов.

Проблеме эффективного сжигания твердого топлива в малых отопительных котлах и промышленных котельных в настоящее время уделяется особое внимание.

Основным фактором, определяющим важность этой проблемы, является не только отказ от централизованного теплоснабжения и установка индивидуальных отопительных котлов в новых зданиях, но и отсутствие технологии эффективного сжигания твердого топлива в них. В результате небольшие котельные во многих городах сжигают большое количество топлива и производят токсичные загрязняющие вещества на уровне земли.

Большое количество продуктов сгорания, производимых малыми котельными, промышленными печами и выхлопами автомобилей, изменяет состав атмосферы, в результате чего концентрация загрязняющих веществ приближается к биологическим эффектам, вредным для здоровья человека.

В течение последней четверти века проводились интенсивные исследования условий, при которых различные виды топлива сгорают эффективно и в то же время производят вредные выхлопные газы. Цель усилий специалистов - найти способы и механизмы систематического контроля процесса горения, чтобы минимизировать выбросы вредных веществ в атмосферу и повысить эффективность установок для сжигания топлива.

Дальнейшие исследования малых котельных необходимы по следующим причинам. Во-первых, известные подходы к решению проблемы эффективного сжигания твердого топлива подходят в основном для крупных котлов тепловых электростанций. Для котлов малой мощности, в силу меньших условий эксплуатации и меньшего оборудования, эта проблема должна решаться по-другому. Во-вторых, после принятия закона РФ "Об охране атмосферного воздуха" был ужесточен контроль за соблюдением экологических требований, а вместе с ним и нормы выбросов оксидов азота в атмосферу [5].

Список литературы

1. Долинский, А.А. Пути повышения эффективности работы котлоагрегатов / А.А. Долинский, В.Г. Демченко. – Текст : непосредственный // Коммунальная и промышленная теплоэнергетика. – 2007. – № 6 (29). – С. 52-57.

2. Демченко, В.Г. Снижение выбросов NO_x путём установки в топку котла экранов-отражателей // Актуальные вопросы теплофизики и физической гидродинамики. – 2004. – С. 45-47.

3. Гришкова, А.В. Уменьшение выбросов окислов азота от водогрейных котлов путём внесения в топку промежуточного излучателя с оптимальными параметрами / А.В. Гришкова, Б.М. Красовский, А.Ю. Ракитин. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2004. - № 5 (26). – С. 50-53.

4. Лушников, М. И. Оценка влияния рециркуляции продуктов сгорания на эмиссию оксидов азота / М. И. Лушников, Н. В. Абрамов ; науч. рук. А. В. Гиль // Бутаковские чтения : материалы I Всероссийской с международным участием молодежной конференции, 15-16 декабря 2021 г., Томск. — Томск, 2021. — С. 305-307.

5. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96 - ФЗ (ред. от 29.12.2014) «Об охране атмосферного воздуха» (04 мая 1999 г.).

УДК 628

Залунина Вероника Владасовна,
магистрант гр. ЗТГВм-52б;
Петренко Анна Вадимовна,
Магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Колосова Нелли Вадимовна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СИСТЕМ ОЧИСТКИ МЕТАНА ОТ ПРИМЕСЕЙ ИЗ БИОГАЗА

Производство биогаза из отходов животноводческих ферм решает экологические вопросы утилизации отходов и позволяет предприятию заменить расходуемый природный газ, в полном или частичном объеме, на биогаз. Это позволит сделать предприятие энергонезависимым. Получаемый биогаз содержит метан, двуокисью углерода, сероводород, а так же водяные пары. В получаемом виде биогаз невозможно использовать, как топливо для газового оборудования. Для очистки биогаза до состояния биометана необходима его очистка. Различают грубую и тонкую очистку биогаза.

Ключевые слова: биогаз, метан, двуокисью углерода, сероводород

Утилизация отходов животноводческих ферм путем сбраживания биомассы в биогазовых установках является перспективным способом обеззараживания отходов и получения биогаза. Отходы животноводческих предприятий выделяют большое количество метана, закиси азота, аммиака, что приводит к загрязнению атмосферы [1, 2]. Сбраживание отходов животноводческих предприятий в метантенках снижает негативное воздействие на окружающую среду, людей и животных. Получаемый биогаз можно использовать как топливо для этих же предприятий, это позволяет сделать предприятие энергонезависимым, или в сжиженом виде транспортировать к потребителю.

В чистом виде получаемый биогаз состоит из метана 40-60%, диоксида углерода 30-60%, небольшого количество водорода до 1% и сероводорода - до 3%, незначительного количества примесей аммиака и других веществ [2-4]. Объемный состав компонентов зависит от качества сбраживаемого сырья. Экспериментальные данные [2, 5] состава биогаза показывают, что при сбраживании безподстилочного навоза коров позволяют получить 50% метана; при сбраживании навоза свиней – 60-75 % метана, конский навоз с соломой – 56-60% метана.

Учитывая полученный состав биогаза, низшая теплота сгорания биогаза будет находиться в пределах 17÷20 МДж/м^3. Учитывая состав биогаза и его низшую теплоту сгорания, перед его использованием в качестве газообразного топлива необходимо рассмотреть вопрос взаимозаменяемости газов. Основной характеристикой взаимозаменяемости газового топлива является число Воббе. Приняв среднее значение низшей теплоты сгорания можно посчитать низшее число Воббе для биогаза по формуле [6]

$$Wo_н = \frac{Q_н}{\sqrt{\frac{\rho_{бг}}{\rho_в}}}, \text{ кДж/м}^3, \quad (1)$$

где $Q_н$ – низшая теплота сгорания биогаза, кДж/м^3,

$\rho_{бг}$ – плотность биогаза, $\rho_{бг}$ = 0,8 кг/м^3.

$\rho_в$ – плотность воздуха при температуре 0°С и давлении 101325 Па, $\rho_в$ = 1,293 кг/м^3.

Тогда число Воббе для биогаза с низшей теплотой сгорания составляет 25426 кДж/м^3. Учитывая, что газ считается взаимозаменяемый, если его число Воббе находится в пределах 39400 - 52000 кДж/м^3. Можно сделать вывод, что применение биогаза в газоиспользуемом

оборудовании, предназначенном для природного газа, без замены горелочных устройств, невозможно.

При производстве биогаза необходимо учитывать тот факт, что биогаз насыщен влагой. Поэтому в схеме биогазовой установки предусматривается его охлаждение. После этого биогаз подогревается и содержание влаги в нем уменьшается. Содержащийся в биогазе сероводород, смешиваясь с водой, образует кислоту, вызывающую коррозию металла. Наиболее эффективным методом очистки от сероводорода является сухая очистка в специальном фильтре. В качестве десульфуризатора применяются различные абсорбенты. Диоксид углерода может быть отделен путем впитывания в известковое молоко. Углекислота сама по себе является ценным продуктом, который можно использовать в различных производствах.

С целью повышения низшей теплоты сгорания биогаза применяют грубые и тонкие способы очистки биогаза до состояния биометана.

К способам грубой очистки биогаза относятся [7]:

- очистка водой под давлением;
- этаноламиновая очистка;
- очистка горячими растворами поташа.

К способам тонкой очистки биогаза относятся [7]:

- щелочная очистка газа от CO_2;
- очистка от CO_2 методом низкотемпературной абсорбции метанолом;
- биокаталитическая безреагентная очистка от H_2S;
- окислительно-абсорбционный метод очистки газов от сероводрода.

Наиболее агрессивным компонентом биогаза является сероводород. Этот газ токсичен, обладает неприятным запахом. При соединении с водяными парами и диоксидом углерода вызывает коррозию металлического оборудования. В результате сгорания образует оксид и диоксид серы, которые, взаимодействуя с парами воды, превращаются в сернистую и серную кислоты, имеющие высокую коррозионную активность.

Очистка водой под давлением от сероводорода и CO_2 основывается на различной растворимости в воде диоксида углерода. При невысоких парциальных давлениях растворимость CO_2 в воде небольшая, но с увеличением давления она увеличивается. При дальнейшем снижении давления растворенный диоксид углерода выделяется из раствора. Водяная очистка газа от диоксида углерода под давлением очень эффективна при высоком содержании CO_2 в газе.

Для очистка биогаза от углекислого газа и сероводорода применяют растворы этаноламинов (аминоспиртов), имеющих щелочные свойства и при взаимодействии с кислотами образуют соли. Используют водяные растворы этаноламина, диэтаноламина и триэтаноламина. Самой сильной основой среди этаноламинов является моноэтаноламин, что нашел широкое применение в промышленности для очистки газов. При абсорбции CO_2 растворами этаноламинов образуются карбонаты и бикарбонаты. В то же время может абсорбироваться сероводород с образованием сульфидов и бисульфидов. Эти соединения при температуре выше 100°С диссоциируют с выделением из растворов CO_2 и H_2S.

Применение карбоната калия (поташ) для очистки биогаза связано с тем, что растворимость солей калия в воде выше, чем растворимость солей натрия.

Теплота растворения CO_2 в поташных растворах в 2,5 раза ниже теплоты растворения в водном моноэтаноламине. Абсорбция и регенерация проводятся при одинаковых температурах, причем абсорбция - при повышенном давлении, а регенерация - при атмосферном. Схема установки поташной очистки показана на рисунке 1 [8].

Раствор подается в абсорбер при 107°С и нагревается в его нижней части до 116°С за счет теплоты абсорбции.

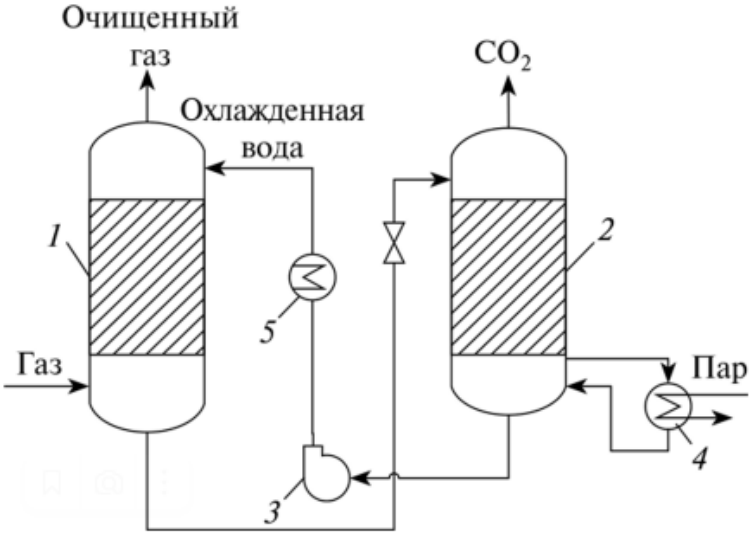


Рисунок 1 - Принципиальная схема очистки от $C0_2$ горячим раствором поташа:
1 — абсорбер; 2 — регенератор; 3 — насос; 4 — кипятильник; 5 — холодильник

На практике концентрация поташа не 40%, а не более 35% (иногда до 25%), так как работа с насыщенными растворами $KHCO_3$ может вызвать забивку трубопроводов, эрозию насосов и т.д. Насыщенный абсорбент без подогрева дросселируется в регенератор (Р= 1,14—1,7 атм), где десорбируется CO_2 путем снижения давления и отдувки водяным паром. При десорбции раствор охлаждается и вновь подается на абсорбцию.

Максимальная поглотительная способность 40%-го раствора поташа при полном переходе карбоната в бикарбонат равна 90 $м^3/м^3$. Практически из-за использования 70—80% поглотительной способности карбоната и неполной регенерации она составляет 28-35 $м^3/м^3$. Эта схема позволяет очищать биогаз до концентрации CO_2 0,5—0,6%.

Тонкую очистку биогаза от сероводорода можно проводить обработкой щелочью, при этом удаляется и двуокись углерода.

Для тонкой очистки газов от сероводорода используется также очистка аммиачной водой. При обработке газа 1,5-6%-ным раствором аммиака при 0,8-1,0 МПа остаточное содержание сероводорода составляет 0,5-3 $г/м^3$.

Промывка биогаза метанолом требует низких температур. При этом расход абсорбента на очистку единицы объёма газа значительно меньше, чем при водной очистке от CO_2.

Выбор метода очисти получаемого биогаза зависит от состава и количества исходного газа, необходимой концентрации метана в конечном газе, оборудования в котором будет сжигаться биогаз. После очистки биогаз состоит на 90-95% из метана. Высокое содержание метана позволяет сжигать его в газогорелочных устройствах, предназначенных для природного газа.

Список литературы

1. Бетин А.Н., Фролов А.И., Филиппова О.Б, Хализова З.Н. Утилизация навозных стоков животноводческих предприятий с целью улучшения экологии окружающей среды // Эффективное животноводство / Общество с ограниченной ответственностью «Институт развития сельского хозяйства» - 2021. - № 6 (172) август 2021. – С. 96-98.

2. Олексюк А.О., Сербін В.А., Радько Н.Ф. Енергозбереження при використанні нетрадиційних джерел. Навчальний посібник [Текст] / А.О. Олексюк, В.А. Сербін, Н.Ф. Радько. – Донецьк: ДАЖКГ Держжитлокомунгоспу України, 2004. – 156 с.

3. Баадер, В. Биогаз: теория и практика [Текст] / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфе. Перевод с нем. и предисловие М.И. Серебряного. М.: Колос, 1982. – 148 с.

4. Мейлах, И.К. Опыт эксплуатации и увеличения мощности первой в России промышленной БГС. Выгода от переработки отходов посредством брожения на биогазовой станции [Текст] / И.К. Мейлах // Инновационная Россия, 2015. - №12(206). – С. 66–69.

5. Дубровский, В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов [Текст] / В.С. Дубровский, У.Э. Виестур. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с.

6. ГОСТ 31369-2008 Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. М: Стандартинформ, 2009. - 54 с.

7. Ратушняк, Г.С. Енергозбереження в системах біоконверсії. Начальний посібник. [Текст] / Г.С. Ратушняк. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 83 с.

8. Дрокин, А.П. Технология разделения углеводородных газов / А.П. Дрокин, И.А. Пугач. М: «Химия», 1975. – 176 с.

УДК 456.72

Максимова Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Слободянюк Яна Руслановна,
магистрант гр. ТГВм-53а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО И ВОЗДУШНОГО РЕЖИМОВ ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМЫ ГИБРИДНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В статье представлены исследования особенностей теплового и воздушного режимов работы системы гибридной реверсивной вентиляции. Сделан вывод, что тепловой режим помещения с системой реверсивной гибридной вентиляции определяется балансом теплопоступлений и тепловых потерь помещения, изменяющихся в течение года, составлены балансовые уравнения для теплого и холодного периодов года, даны рекомендации по выбору временного шага работы системы.

Ключевые слова: гибридная реверсивная вентиляция, воздухообмен, инфильтрация, эксфильтрация, тепловой и воздушный режим, приточный воздух, теплопотери, внутренний и наружный воздух.

Рассматривая существующие на данный момент способы организации воздухообмена, стоит отметить, что не всегда они являются достаточно эффективными. Касательно механических систем воздухообмена следует учесть, что в большинстве случаев они не могут обеспечить требуемые параметры микроклимата в рабочей зоне помещения, а также имеют низкую энергоэффективность. Системы с естественным побуждением имеют высокий потенциал, но для административных зданий не используются.

Исходя из вышесказанного предлагается применение системы гибридной реверсивной вентиляции, которая совмещает в себе достоинства механической и естественной систем. Данная система эффективно работает во все периоды года и уменьшает потребление энергии за счёт естественного режима циркуляции. Такими образом она выступает альтернативой существующим на данный момент решениям в этой области.

Основными показателями, определяющими воздушный режим помещения с системой гибридной реверсивной вентиляции, являются формирующийся воздухообмен и поле скоростей воздуха в помещении. Эти параметры зависят от сопротивления проницаемых элементов, пропускающих приточный и вытяжной воздух, а также от располагаемого естественного давления.

Причинами изменения величины естественного давления в течение времени выступают изменение разности плотностей наружного и внутреннего воздуха, а также смена направления ветра и его скорости. В свою очередь разность плотностей возникает из разности температур внутреннего и наружного воздуха при условии, что температура наружного воздуха моделируется согласно гармоническому закону и, соответственно, коэффициенты в уравнении колебания зависят от географического положения объекта. Температура внутреннего воздуха зависит от воздушно-теплового режима здания и внешних метеоусловий.

Рассмотрим индивидуальное приточно-вытяжное устройство – один из элементов, который составляет сопротивление приточному и вытяжному воздуху. Согласно санитарным нормам, данное устройство должно соответствовать трём основным требованиям:

1. Температура воздуха, поступающего через устройство, не должна быть ниже минимально допустимой температуры в холодный период года более чем на 2 °С.

2. Скорость поступления приточного воздуха в рабочую зону не должна превышать 0,3 м/с.

3. Устройство не должно нарушать требований к тепловой защите здания.

Отметим, что пункт 1 зависит от пункта 2. Таким образом, обеспечение малой скорости поступления воздуха в помещение позволяет ему достаточно прогреться, при движении в устройстве и вблизи отопительного прибора. Малые скорости поступления воздуха нужно сочетать с достаточным расходом. Осуществить это можно благодаря такой конструкции устройства, в которой воздух будет поступать микроструями через достаточно большую площадь. При этом необходимо располагать устройство в подоконном пространстве сразу за отопительным прибором. Для более равномерного прогрева притока необходимо, чтобы во фронтальной проекции отопительный прибор полностью перекрывал собой это устройство. Выполнить требование к подвижности в приточной струе, а также осуществить очистку фильтруемого воздуха и снизить уровень шума предлагается при помощи приточно-вытяжного устройства в виде пористой вставки с клапаном. Конструкция устройства представлена на рисунке 1. [5]

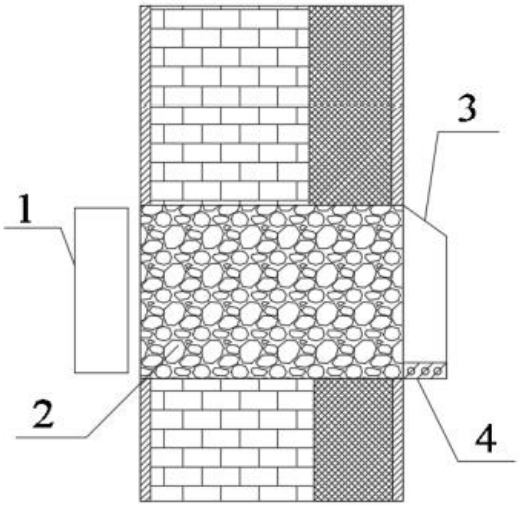


Рисунок 1 – Конструкция приточно-вытяжного устройства:
1 – отопительный прибор,
2 – воздухопроницаемый элемент,
3 – ветроотбойный щиток,
4 – защитная сетка

Для характеристики воздухопроницаемости пористых материалов используется коэффициент воздухопроницаемости μ, который определяется опытным путём и зависит от открытой пористости, то есть чем больше пористость материала, тем выше воздухопроницаемость. Коэффициент воздухопроницаемости может снижаться из-за увеличения влажности или, как в рассматриваемом случае, вследствие контакта поверхности с окружающей средой, а именно за счет засорения поверхности и массива материала частицами пыли, содержащимися в наружном и внутреннем воздухе. И чтобы исключить появление конденсата в проеме за отопительным прибором необходимо выполнить моделирование температурного режима указанной краевой зоны наружного ограждения и предусмотреть предупреждающие меры. [6]

Воздушный режим здания (ВРЗ) рассматривается как совокупность краевой и внутренней частей ВРЗ. При расчете ВРЗ определяются давления в каждом помещении и расходы инфильтрующегося, эксфильтрующегося и перетекающего между помещениями здания воздуха с учетом действия гибридной реверсивной вентиляции. Внутренняя часть воздушного режима здания рассматривается для помещений с пребыванием людей по однозонной модели. Значения параметров микроклимата берутся осредненными по объему и принимаются как исходные данные при расчете работы системы гибридной реверсивной

вентиляции. Тепловой режим здания определяется температурным режимом в помещениях и зависит от параметров наружного воздуха, теплотехнических характеристик ограждений и наличия источников теплоты внутри здания, что связанно с ВРЗ и работой системы вентиляции.

Тепловой режим помещения с системой реверсивной гибридной вентиляции определяется балансом теплопоступлений и тепловых потерь помещения, изменяющихся в течение года. Слагаемые уравнения теплового баланса для различных периодов года неодинаковы. Для теплого периода балансовое уравнение будет иметь вид [4]:

$$\sum Q = Q_R + Q_{\text{б}} - Q_{\text{вент}}\,, \tag{1}$$

где Q_R – теплопоступления в результате действия солнечной радиации, Вт;

$Q_{\text{б}}$ – бытовые теплопоступления, Вт;

$Q_{\text{вент}}$ – теплопоступления (теплопотери) в результате действия системы вентиляции, Вт.

Теплопоступления от солнечной радиации являются суммой тепловых потоков, которые появляются вследствие действия прямой и рассеянной солнечной радиации на светопрозрачные ограждающие конструкции и принимаются равномерно распределенными по всем поверхностям помещения, а также лучистым теплообменом на внутренних поверхностях помещения и лучисто-конвективным потоком от нагретой поверхности окон.

Радиационные теплопоступления моделируются по общепринятой методике. Таким образом, к бытовым теплопоступлениям относятся тепловые потоки, вызванные повышенной температурой офисного оборудования, а также тепловыделения от людей, работающих в помещении. Теплопоступления от искусственного освещения учитываются только в холодный период. Эти величины всегда положительны для административных зданий, но ввиду необходимости ассимиляции теплоизбытков, приточный воздух непрерывно охлаждается ниже температуры воздуха помещения, вследствие этого последнее слагаемое имеет отрицательное значение.

В холодный период уравнение теплового баланса выглядит иначе [4]:

$$\sum Q = Q_{\text{со}} + Q_{\text{б}} - Q_{\text{вент}} - Q_{\text{тп}} + Q_{\text{осв}}\,, \tag{2}$$

где $Q_{\text{тп}}$ – трансмиссионный тепловой поток, Вт;

$Q_{\text{со}}$ – мощность системы отопления, Вт;

$Q_{\text{осв}}$ – теплопоступления от искусственного освещения, Вт.

Так как в холодный период помещение дополнительно обогревается системой отопления, то в уравнение добавляется положительное слагаемое $Q_{\text{со}}$. Приточный воздух необходимо подогревать, поэтому вентиляционная составляющая $Q_{\text{вент}}$ отрицательна. Мощность системы отопления зависит от температуры наружного воздуха и определяется по графику качественного регулирования отпуска теплоты. Теплопоступления от людей, оборудования и освещения рассчитываются по общепринятой методике, соответственно количество людей и светильников рассчитывается исходя из нормы площади помещения на одного человека и нормы освещенности, а тепловыделения оргтехники принимаются по удельной площади помещения.

В качестве подведения итогов, выделим алгоритм совместной работы воздушного и теплового режимов помещения с системой гибридной реверсивной вентиляции. Таким образом, для определения параметров воздушной среды каждого помещения необходимо совместное решение задач воздушного и теплового режимов. После задания начальных и краевых условий рассчитываются все тепловые и воздушные потоки в каждом помещении. По уравнениям (1) или (2) определяется величина теплового баланса в начальный момент времени и выбирается временной шаг, который можно изменять при необходимости.

Считается, что балансовое значение теплоты полностью расходуется на нагревание или охлаждение воздуха помещения, в связи с чем изменяется его температура. Изменение

температуры определяется по уравнению теплового баланса воздуха с использованием значений объема помещения и теплоемкости воздуха. В свою очередь, при изменении величины внутренней температуры изменяется располагаемое давление. Используя характеристики сопротивления, аэродинамическую схему и вычисленную величину располагаемого давления, рассчитывается расход воздуха в следующий момент времени во всех элементах сети. Рассчитанные теплопоступления и воздухообмены проверяются на наличие избытка, чем исключается перегрев, переохлаждение или недостаточный (избыточный) воздухообмен в помещениях.

Начальное время расчета предпочтительно установить в тот момент, когда система находится в устойчивом стационарном состоянии. Для административных зданий это время начала рабочего дня после выходных. Этому моменту соответствуют установившиеся тепловые и воздушные потоки. Временной шаг программы необходимо выбирать так, чтобы рассчитываемые значения сходились в допустимой погрешности в конце каждого расчетного цикла.

Список литературы

8. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : монография / В. Н. Богословский. – М.: Изд. Высшая школа, – 415 с.

9. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 1979. – 248 с.

10. Дудникова И. В. Система реверсивной вентиляции для административных зданий // Вестник магистратуры. – 2020. – №2-2(101). – С. 85–89.

11. Константинова, Е. В. Воздушно-тепловой режим многоэтажных жилых зданий : монография / Е. В. Константинова. – М.: Изд. лит. по строительству, 1969. – 136 с.

12. Кравчук В. Ю. Повышение эффективности вентиляции административного здания с применением воздухопроницаемых элементов в наружных ограждениях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03./ В. Ю. Кравчук. – М., 2019 - 185 с.

13. Максимова, М. В. Прогнозирование запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций здания : дисс. на соиск. науч. ст. канд. техн. наук: 05.23.03 / М. В. Максимова. – Омск, 2000. – 141 с.

14. Ушков, Ф. В. Влияние воздухопроницаемости на теплозащиту стен / Ф. В. Ушков // Строительная промышленность. – 1951. – № 8. – С. 16-19.

УДК 621.6

Воробьев Владислав Викторович,
магистрант гр. ТГВм-52 каф. ТТГВ;
Двали Леван Юрьевич,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Удовиченко Злата Викторовна
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Природный газ стал одним из наиболее часто используемых видов топлива во всем мире, но, не смотря на это, существуют и другие спонтанные, непрерывные, текущие или индуцирующие процессы, которые могут производить аналогичный газ за относительно короткое время, в частности, биогаз. В работе исследован и описан потенциал биомассы из органических остатков для производства биогаза. Рассмотрены основные технологии переработки биомассы и перспективы её использования для газоснабжения населенных пунктов. Основное внимание уделяется рассмотрению биогаза как альтернативы топливу с преимуществом получения из возобновляемого источника, обеспечивающего электроэнергию, тепло или транспорт для малых населенных пунктов.

Ключевые слова: органические остатки; переработка биомассы; биометан; биогаз; возобновляемая энергия

Введение

В настоящее время влияние изменения климата во всем мире неоспоримо. Большинство экологических, социальных и экономических проблем, с которыми сталкиваются все общества, связаны с потреблением энергии и потребностью в воде, а также с другими услугами. Сырая нефть и природный газ используются десятилетиями, являясь основным источником энергии в крупнейших экономиках. Тем не менее, было доказано, что большая часть антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) приходится на потребление этих ископаемых видов топлива, увеличивая глобальное потепление.

Проблема заключается не только в негативном воздействии на окружающую среду, но и в истощении запасов ископаемого топлива. Эта ситуация вызывает беспокойство и привлекает внимание всего мира к поиску и внедрению альтернативных источников энергии, одним из которых является биогаз.

Биотопливо рассматривается в качестве важного ресурса при выборе источников энергии и обеспечения энергетической безопасности и развития малых населенных пунктов, а также для смягчения последствий изменения климата путем сокращения выбросов парниковых газов.

Биомасса как источник энергии

Биомасса используется в качестве органического сырья, которое можно перерабатывать для получения тепла и электроэнергии из жидкого, твердого или газообразного биотоплива. Биомасса является одним из самых распространенных ресурсов и включает в себя все биологические материалы, включая живые или недавно живые организмы, и считается возобновляемым органическим ресурсом [1].

Энергия из биомассы не является исключением. Так называемая биоэнергетика может использовать солнечную энергию, запасенную в различных ресурсах биомассы. Растения, например, путем фотосинтеза используют солнечную энергию для преобразования усвоенных неорганических соединений в органические. Животное, которое ест растения, использует накопленную энергию из них и производит биомассу.

Во всем мире существуют различные источники биомассы, которые можно использовать для ее преобразования в энергию, включая материалы биологического происхождения, такие как живые растения и животные, а также образующиеся в результате отходы, растительные и лесные отходы, морские водоросли, отходы агропромышленного производства, сточные воды и твердые бытовые отходы. Биомассой может быть практически весь органический материал, за исключением окаменелого органического материала, заложенного в геологической формации.

Большая часть этих ресурсов биомассы представляет собой экологическую проблему, если ими не управляют, не транспортируют и не утилизируют должным образом. Следовательно, при использовании биомассы для выработки энергии, снижается загрязнение окружающей среды [2].

В связи с ориентацией современной экономики на развитие энерго- и ресурсосберегающих технологий наиболее перспективным направлением в производстве биотоплива является производство биогаза.

Биогаз - это термин, используемый для обозначения газа, получаемого путем анаэробного расщепления ресурсов биомассы. Процесс всегда очень чувствителен к биологическому процессу.

В зависимости от биомассы используемой для производства биогаза можно выделить следующие его виды:

1. Газ метантенков, получаемый на городских канализационных очистных сооружениях (БГ КОС);

2. Биогаз, получаемый в биогазовых установках при сбраживании отходов сельскохозяйственных производств (БГ СХП);

3. Биогаз, получаемый на полигонах отходов, содержащих органические компоненты (БГ ТБО) [3].

Состав и количество биогаза не являются постоянными и зависят от вида перерабатываемого субстрата и от технологии производства биогаза. Усредненный состав биогазов в соответствии с приведенной классификацией представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация и состав биогаза

Компоненты биогаза	Содержание компонентов, % об.		
	БГ КОС	БГ СХП	БГ ТБО
1	2	3	4
CH_4	60-65	55-75	35-80
CO_2	16-34	27-44	0-34
N_2	0-3	0-3	0-82
O_2	-	-	0-31,6
H_2	-	0,01-0,02	0-3,6
CO	-	0,01-0,02	2,8
H_2S	-	до 1,0	0-70 ppm

Газ метантенков городских канализационных очистных сооружений характеризуется более стабильным составом. Содержание основного горючего компонента – метана – на разных очистных сооружениях изменяется от 60 до 65% по объему. Более значительные колебания состава газа наблюдаются при переработке отходов сельскохозяйственного производства, при этом в газе присутствует некоторое довольно значительное количество сероводорода. Поэтому перед использованием требуется очистка газа от H_2S.

Основное различие между природным газом и биогазом связано с содержанием диоксида углерода. Последний содержится в 25-45% от общего состава биогаза, в то время как природный газ содержит менее 1% (Таблица 2). Содержание метана значительно влияет на теплотворную способность этих газов. Энергетическое содержание биогаза, аналогичное

природному газу, может быть получено, если диоксид углерода из биогаза удаляется в процессе модернизации [4].

Таблица 2 - Сравнение состава биогаза и природного газа

Параметр	Биогаз со свалки	Биогаз из сельскохозяйственной установки	Природный газ
1	2	3	4
Более низкая теплотворная способность (МДж/м^3)	10,7–23,3	19,7–21,5	31–40
Содержание метана, CH_4 (%)	35–65	55–70	81–89
Двуокись углерода, CO_2 (%)	25–45	35–55	0,67–1,00
Сероводород, H_2S(%)	30–500	25–30	0–2,9
Азот, N_2 (%)	<1–17	<1–2	0,28–14
Кислород, O_2 (%)	<1–3	<1	0
Другие углеводороды	0	0	3,5–9,4
Галогенированные соединения (мг/м^3)	0,3–225	<0,01	-
Силоксаны (мг/м^3)	<0,3–36	<0,02–<0.2	-
Теоретический воздух для горения (м^3 биогаза/м^3)	6	6,6	9,5

В этом отношении будущая роль биогаза в мире связана с доступностью различных видов органического сырья, что зависит от ряда экономических, социальных, технологических, экологических и регулирующих факторов. Примеры различных видов сырья из биомассы для производства биогаза по секторам приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Примеры различных видов сырья из биомассы для производства биогаза

Сектор	Тип исходного сырья для биомассы	Пример биомассы	Выход биогаза (м^3 CH_4/т БС*)
1	2	3	4
Сельское хозяйство	Навоз и навозная жижа, зерновые культуры, трава и другие побочные продукты	Суспензия для свиней	300
		Навозная жижа для крупного рогатого скота	200
		Кукуруза (весь урожай)	205–450
Индустриальный	Органические отходы, побочные продукты и отходы агропромышленного комплекса, кормопроизводства, сточные воды с органическим наполнением и осадок	Сыворотка	330
		Флотационный шлам	540
Муниципальный	Бытовые отходы, свалки, осадки сточных вод, твердые бытовые отходы и остатки пищевых продуктов	Фруктовые отходы	300–550
		Осадок сточных вод	400

Примечание. *БС – базовое сырье.

Технологии переработки биомассы тесно связаны с типом биомассы, количеством, доступностью, рентабельностью и требованиями конечного пользователя к биотопливу. Выбор технологии зависит от основных интересов “производителя”. Во всех случаях основные способы обработки биомассы, которые могут быть применены, охватывают четыре технологии конверсии: прямое сжигание, термохимическая, биохимическая и биотехнологическая, а также нанотехнология (Рисунок 1).

Рисунок 1 - Технологии преобразования биомассы в энергию

Важно отметить, что перед применением технологии конверсии необходима предварительная обработка биомассы. В некоторых случаях биомассу приходится собирать, транспортировать или хранить. Кроме того, доступность ресурсов варьируется от региона к региону в зависимости от погодных условий, типа почвы, географии, плотности населения и производственной деятельности, что усложняет выбор технологии переработки.

Одним из старейших видов использования биомассы для получения энергии в мире является ***сжигание*** древесины. Такой вид обработки биомассы является традиционным, особенно в сельской местности. Тем не менее, при сжигании древесины в печи на открытом огне теряется около 80% энергии.

В последнее время технологии предполагают использование энергоэффективных печей, которые не только обладают лучшей тепловой эффективностью, но и позволяют избежать загрязнения воздуха в помещении.

Биохимическая обработка, в отличие от термохимического процесса, обеспечивает выработку энергии за счет биологической трансформации органических соединений с использованием анаэробного сбраживания или ферментации биомассы. Ферментация обычно используется для производства биотоплива, такого как этанол, из сахарных и крахмальных культур. Тем не менее, существует другой путь, при котором происходит преобразование биомассы, - анаэробное сбраживание.

Для производства биогаза существуют некоторые виды биомассы, которые являются более точными, например, биомасса с высоким содержанием влаги в органических отходах (80-90%) или влажные остатки биомассы в виде навоза, твердых бытовых органических отходов и осадка сточных вод [5]. Процесс анаэробного сбраживания обычно происходит в реакторах или резервуарах в рамках одностадийного, многостадийного процесса или сухого сбраживания.

Процесс биометанизации. Когда основным конечным продуктом биогазовой установки является метан, аналогичный природному газу, этот усовершенствованный газ называется биометаном. Содержание метана определяет энергетическую ценность биогаза. В этом

отношении одной из основных причин повышения качества биогаза до уровня, эквивалентного природному газу, является закачка в газораспределительную сеть и, таким образом, диверсификация некоторых источников природного газа.

Процесс биометанизации позволяет впрыскивать биогаз в систему распределения.

Основными видами использования биогаза в малонаселенных городах являются освещение, приготовление пищи и биогазовые установки с учетом концентрации метана из биогаза для соответствия стандартам природного газа. В зависимости от конечного использования, необходимы различные виды обработки биогаза (очистка или модернизация).

Биогаз, полученный при анаэробном сбраживании биомассы, содержит значительное количество диоксида углерода, что приводит к снижению энергосодержания. Для улучшения этой характеристики требуется отделение диоксида углерода с помощью процесса модернизации. Рекомендуется очистка газа перед модернизацией.

По сравнению с обычным использованием биогаза, модернизация биогаза дает ряд преимуществ, связанных с транспортировкой газа, и дает возможность повысить общую эффективность использования газа. В этой части важно прояснить, что очистка биогаза относится к отделению примесей, в то время как модернизация относится к отделению CO_2.

Если биогаз преобразовать в биометан с содержанием метана примерно 98% в биогазе, он может обладать теми же свойствами, что и природный газ. Согласно нормам биометан может подаваться в доступную газовую сеть или использоваться для любых целей, для которых используется природный газ.

На самом деле, выбор оптимальной технологии для обогащения биогаза зависит от качества и количества сырого биогаза, подлежащего обогащению, желаемого качества биометана и конечного использования биогаза, системы анаэробного сбраживания, непрерывности биомассы, а также местных условий [6,7].

Вывод. Сегодня в Донецком регионе многие населённые пункты не обеспечены природным газом на должном уровне, и в этой ситуации хорошим выходом могли бы стать биогазовые установки, тем более что сырья для них – в избытке. Это и навоз, и опавшая листва, и пищевые отходы, и сгнившее зерно – всё, что обычно сваливают в компостную яму.

Именно поэтому особенно эффективно производство биогаза в агропромышленных комплексах и фермерских хозяйствах, где фактически обеспечивается замкнутый технологический цикл. Более того, излишки произведённого биогаза можно продавать, накапливать или перекачивать.

Биогаз можно использовать и как топливо для сельскохозяйственной техники и автомобилей с установкой дополнительных систем очистки биогаза. С учётом того, что цены на топливо растут неустанно, заправка биогазом придётся как нельзя к месту. К тому же, побочным продуктом при очистке биогаза является углекислый газ, и его тоже можно использовать – в технических целях.

Биогазовые установки позволяют существенно сократить расходы хозяйства за счет очистки и утилизации отходов. Нет необходимости в строительстве навозных отстойников. Можно сэкономить средства, избежать штрафов за загрязнение грунтовых вод и эффективно использовать освободившиеся земельные участки.

Эффективность использования биогаза достаточно высока: 24% для двигателей внутреннего сгорания, 55% для газовых плит. Но наиболее эффективно использование биогаза в получении тепла и энергии одновременно. В этом случае эффективность достигает 88%.

Список литературы

1. Maneesha, P. Biomass conversion to energy / P. Maneesha, A.N. Bhaskarwar // Biomass the Interface of the Biotechnology. Chemistry and Material Science. - Berlin, Heidelberg, 2012, 116 p.

2. Wellinger, A. The Biogas Handbook: Science, Production and Applications / A. Wellinger, J. Murphy, D. Baxter, editors // IEA Bioenergy. - Woodhead Publishing series in Energy, Cambridge, UK, 2013. - 512 p.

3. Чадова, Н.А. Технологии производства биогаза и перспективы его применения в России / Н.А. Чадова, А.Ю. Чадов // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» //scienceforum.ru/2017/article/2017033030 (дата обращения: 13.03.2023).

4. Nasir, I.M. Anaerobic digestion technology in livestock treatment for biogas production: A review / I.M. Nasir, T.I.M Ghazi, R. Omar // Engineering in Life Science, 2012. – P. 258-269.

5. McKendry, P. Energy production from biomass / McKendry, P. // Conversion technologies. Bioresource Technology, 2002. – P.47-54.

6. Мариненко, Е.Е. Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: учебное пособие / Е.Е. Мариненко – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 100 с.

7. Тихонравов, В.С. Ресурсосберегающие биотехнологии производства альтернативных видов топлива в животноводстве: науч. аналит. обзор / В.С. Тихонравов. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 52 с.

УДК 697.97

Долгов Николай Викторович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Лазаренко Лидия Владимировна,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Захарова Ольга Олеговна,
магистрант гр. ЗТГВм-53а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

УТИЛИЗАТОРЫ ТЕПЛА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха наиболее крупные потребители тепловой энергии. Комплекс методов экономии энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха включает: выявление и использование вторичных энергоресурсов, оптимальную организацию тепловлажностных и аэродинамических процессов в помещении и при подготовке приточного воздуха, утилизацию тепла и холода вентиляционных выбросов, разработку и реализацию алгоритмов и средств оптимального автоматического управления этими системами. По некоторым оценкам, низкопотенциальное тепло вентиляционных выбросов является крупным резервом для снижения энергоемкости систем вентиляции и кондиционирования воздуха, а за счет оптимизации функционирования систем можно добиться более 60% экономии тепла и электроэнергии.

Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование, теплоснабжение, рекуператор, влагосодержание, ограждающие конструкции.

Используемые в схемах вентиляционных систем устройства утилизации теплоты различаются по двум основным критериям:

- по степени централизации вентсистемы: утилизаторы теплоты в составе центральных вентустановок, обслуживающих из одного центра несколько помещений; утилизаторы теплоты в составе автономных кондиционеров; местные утилизаторы теплоты, устраиваемые для отдельных помещений и располагающиеся, как правило, в самих обслуживаемых помещениях.
- по способу теплообмена: рекуперативные теплообменники (пластинчатые, трубчатые и др.); регенеративные теплообменники (вращающиеся и стационарные переключающиеся регенераторы); теплообменники с тепловыми трубками; теплообменники с промежуточным контуром; тепловые насосы.

При сходных массогабаритных показателях наибольшей энергетической эффективностью обладают регенеративные теплоутилизаторы (80-95 %), далее следуют рекуперативные (65-75 %) и на последнем месте теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем (45-55 %) [2].

Принцип действия регенеративного теплоутилизатора представлен на рисунке 1 [3], он заключается в том, что через роторы встречными потоками двигаются приточный и вытяжной воздух.

Если система работает на обогрев, то вытяжной воздух отдает теплоту тому сектору ротора, через который он проходит. Когда этот нагревшийся сектор ротора попадает в поток холодного приточного воздуха, приточный воздух нагревается, а ротор, соответственно, охлаждается. Если система работает на охлаждение, то теплота передается от теплого приточного холодному вытяжному воздуху [3].

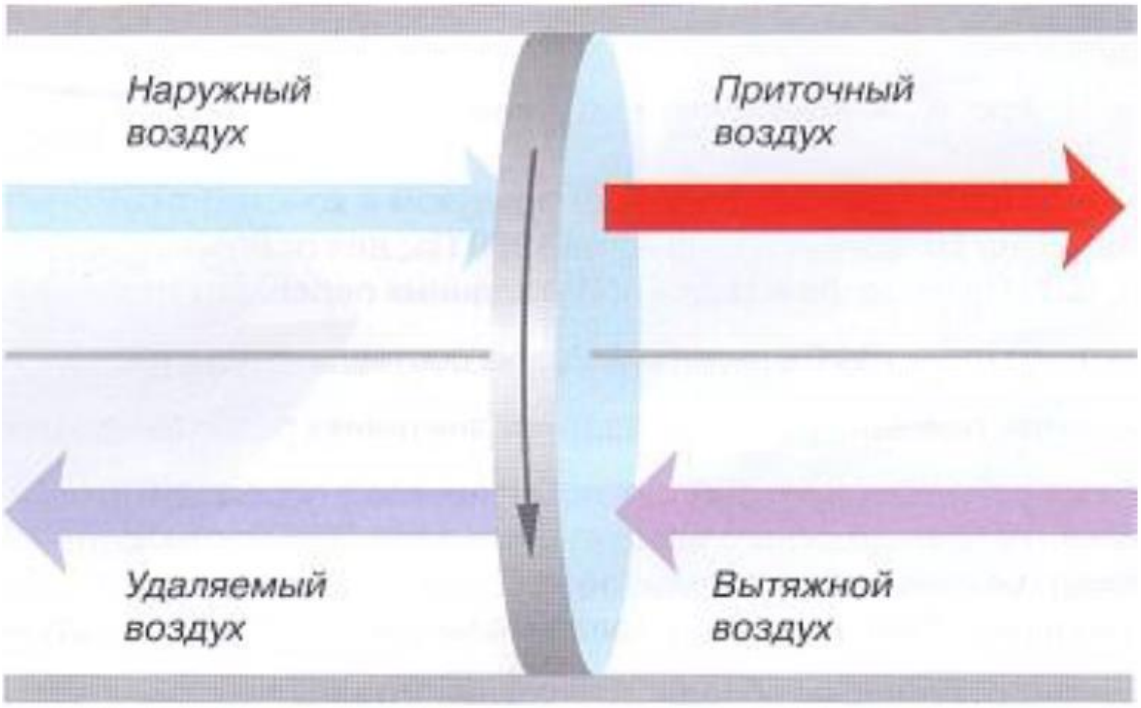


Рисунок 1 - Принципиальная схема вращающегося регенеративного теплообменника

Основные преимущества таких теплоутилизаторов по сравнению с другими возможность управления процессом переноса теплоты при изменении числа оборотов, эффект самоочищения, незначительные размеры и высокая степень эффективности. Существенным недостатком является вероятность смешивания определенной части удаляемого воздуха с приточным в корпусе аппарата, что, в свою очередь, может привести к переносу неприятных запахов и болезнетворных бактерий [4].

Главной особенностью рекуперативных теплоутилизаторов (рисунок 2) является то, что теплоносители омывает стенку рабочей полости с двух сторон и при этом непрерывно движутся в определенном направлении [5]. Именно эти системы чаще всего рассматриваются как метод энергосбережения, при котором удаляемый из здания воздух используется в теплый период года для предварительного охлаждения, а в холодный период – для подогрева приточного воздуха с уменьшением затрат энергии на подогрев приточного воздуха [6].

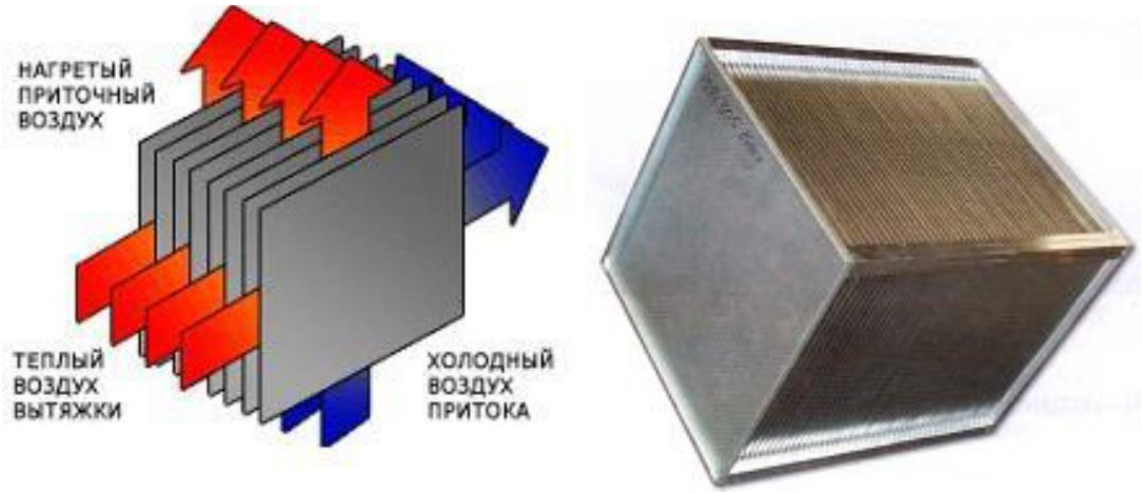


Рисунок 2 - Схема и вид пластинчатого рекуператора

При установке рекуперативных теплоутилизаторов поквартирно появляется возможность:

- гибкого регулирования воздушно-теплового режима в зависимости от режима эксплуатации квартиры, в том числе с использованием рециркуляционного воздуха;
- защиты от городского, внешнего шума (при использовании герметичных светопрозрачных ограждений);
- очистки приточного воздуха с помощью высокоэффективных фильтров [7].

Теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем состоит из двух водовоздушных теплообменников, соединенных между собой замкнутой рециркуляционной системой (рисунок 3). Один теплообменник находится в канале приточного воздуха, а второй - в канале удаляемого воздуха. Система наилучшим образом соответствует предъявляемым гигиеническим требованиям, так как потоки приточного и удаляемого воздуха полностью разделены друг от друга [3].

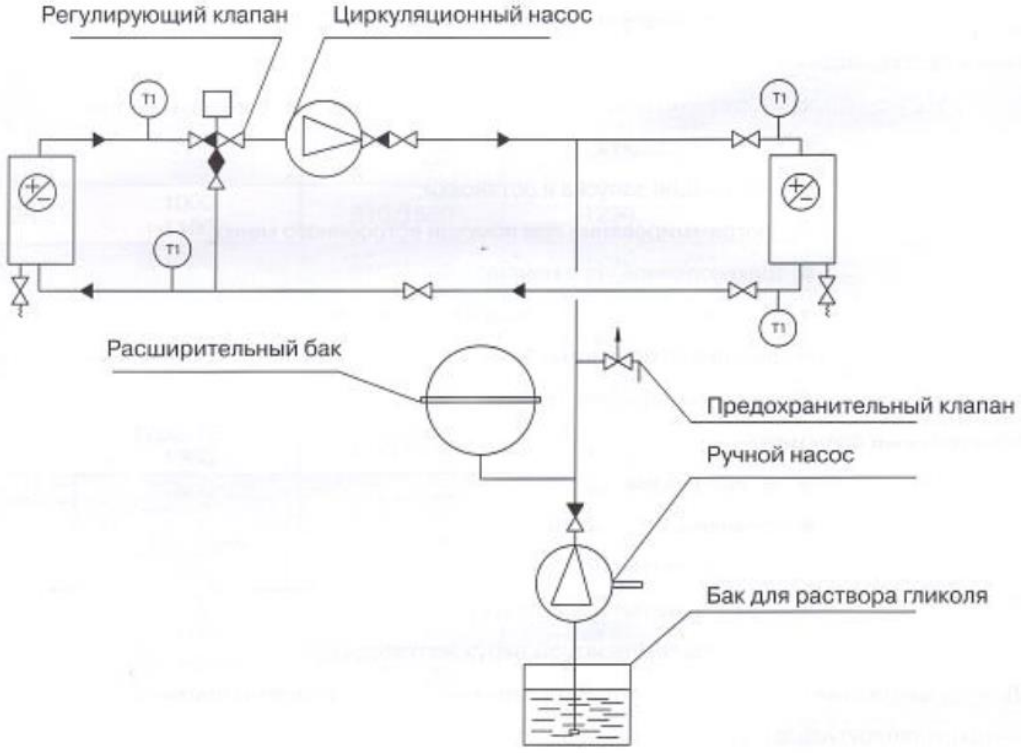


Рисунок 3 - Схема утилизации теплоты с использованием промежуточного теплоносителя

Помимо трансмиссионных и инфильтрационных потерь тепловой энергии, значительная доля тепла в отопительный период расходуется на подогрев холодного воздуха, поступающего с улицы в помещения эксплуатируемого здания. Вентиляция подразделяется в общем случае на естественную (неорганизованный приток воздуха) и механическую (принудительную). Однако и в том, и в другом случае необходимо обеспечить в зданиях требуемый воздухообмен, т.е. подать в здание определенное количество воздуха для обеспечения комфортных условий пребывания людей в помещениях.

Потери зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена за отопительный период $Q^{г}_{вент}$, МДж/год, следует рассчитывать по формуле [1]:

$$Q^{г}_{вент} = 0,024 \cdot \left(L_{ж} + L_{общ} \right) \cdot c_{в} \cdot \rho^{от}_{в} \cdot ГСОП \cdot \left(1 - \eta_{рек} \right), \qquad (1)$$

где $L_{ж}$ – количество приточного воздуха, м^3/ч, принимаемое для жилых зданий при механической вентиляции вне зависимости от назначения здания согласно расчета, а при неорганизованном притоке (естественной вентиляции) для: жилых зданий,

предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м^2 общей площади и менее на человека) – $L_{ж} = 3 \cdot A_{ж}$; других жилых зданий (с расчетной заселенностью квартиры более 20 м^2 общей площади на человека) – $L_{ж} = 0,35 \cdot h_{эт} \cdot A_{ж}$, но не менее $30 \cdot m$ (где m – расчетное число жителей в здании);

$L_{общ}$ – количество приточного воздуха, м^3/ч, принимаемое для общественных и административных зданий (а также для встроенных в жилые здания помещения общественного назначения) при механической (принудительной) вентиляции вне зависимости от назначения здания согласно расчета, а при неорганизованном притоке (естественной вентиляции): для административных зданий, офисов, объектов сервисного обслуживания, складов и супермаркетов – 4·Ар, для учреждений здравоохранения и образования, комбинатов бытового обслуживания – 5·Ар, для спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений – 6·Ар; для физкультурно-оздоровительных и культурно-досуговых комплексов, ресторанов, кафе, вокзалов – 10·Ар.

$A_{ж}$, $A_{р}$ – для жилых зданий – площадь жилых помещений (Аж), к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые; для общественных зданий – расчетная площадь (Ар), определяемая согласно СП 118.13330 как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, проходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещений инженерного оборудования и сетей м^2;

$c_{в}$ – удельная массовая теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°С);

$\rho_{в}^{от}$ – средняя плотность воздуха, кг/м^3;

$ГСОП$ – градусо-сутки отопительного периода, ºС·сут;

$\eta_{рек}$ – коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха при механической вентиляции помещений.

Произведена оценка влияния утилизации тепла вытяжного воздуха на параметры энергосбережения в зданиях.

Были рассмотрены основные устройства систем утилизации тепла. Указаны основные преимущества и недостатки каждого устройства и выявлены наиболее энергетически эффективные.

Представлена формула расчета различных систем вентиляции с применением рекуперативных устройств, учитывающая коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха, который может позволить более точно рассчитать потери тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий

2. Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Вентиляция многоэтажных жилых зданий // АВОК-ПРЕСС. 2005

3. Утилизация теплоты удаляемого воздуха [Электронный ресурс]. URL:http://www.ventclub.ru/

4. Шилкин Н. В. Методы повышения тепловой эффективности зданий и их экономическая оценка // ВАК. 2007. 174 с

5. Три вида теплообменников по принципу действия [Электронный ресурс]. URL:http://www.teplopuls.ru/

6. Dieckmann John. Improving humidity control with energy recovery // ASHRAE Journal, August. 2008. Pp. 38- 45

7. Наумов А.Л., Серов С.Ф., Будза А.О. Квартирные утилизаторы теплоты вытяжного воздуха // АВОК. 2012. №1

УДК 697

Бондарев Петр Николаевич,
магистрант гр. ЗТГВМ-52а каф. ТТГВ;
Кузнецов Александр Эдуардович
магистрант гр. ТГВм-52 каф. ТТГВ;
Демешкин Валентин Павлович,
старший препод. каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПАКТНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПРИТОЧНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ПРИТОЧНЫХ УСТАНОВОК ТА ШВЕДСКОЙ КОМПАНИИ SYSTEMAIR И КОМПАКТНЫХ ПРИТОЧНЫХ АГРЕГАТОВ КП РОССИЙСКОЙ КОМПАНИИ ВЕЗА

Целью научной статьи является исследование современных компактных агрегатов для приточных систем вентиляции на примере приточных установок и шведской компании Systemair и компактных приточных агрегатов КП российской компании ВЕЗА. Проведен анализ характеристик агрегатов для приточных вентсистем.

Ключевые слова: приточные системы, вентиляция, компактные агрегаты, установка

Приточные агрегаты ТА (Systemair)

ТА-серия высокопроизводительных приточных агрегатов, предназначенных для установки в административно-торговых и учебных помещениях (школах, магазинах, офисах и т.п.). Агрегаты укомплектованы системой управления и готовы к эксплуатации. Все типоразмеры данной серии отличаются компактностью. Расход воздуха от 450 до 4500 м^3/час.

Высокоэффективные приточные агрегаты предназначены в основном для вентиляции небольших помещений в школах, магазинах, офисах, на бензозаправочных станциях и т.п. Малая высота корпуса облегчает монтаж позволяет установку в подвесном потолке. Ручки сервисных дверц демонтируются с помощью торцевого ключа16 мм, что позволяет устанавливать агрегат в ограниченном пространстве, петли также демонтируются с помощью отвертки или шуруповерта.

Точность измерений для датчика температуры приточного воздуха составляет ± 0,4°С. точность регулирования температуры также составляет ± 0,4 °С.

Корпус и дверца изготовлены из оцинкованных стальных листов, покрытых звукоизоляцией в виде слоя минеральной ваты толщиной 50мм. Во избежание отделения волокон на изолирующий материал нанесено защитное покрытие. Данное покрытие также защищает изоляцию от засорения воздуховода и агрегата. Большие сервисные дверцы облегчают осмотр и техническое обслуживание агрегатов. Дверцы снабжены замками. Все электрические подключения выполняются через клемную колодку, расположенную в соединительной коробке, что существенно облегчает монтаж агрегата. Приточные агрегаты оснащены кронштейнами для монтажа агрегата в подвесном потолке или на стене. Пульт управления подключается с помощью кабеля длиной 10 м (входит в комплект поставки).

Агрегаты оборудованы бескорпусным радиальным вентилятором с непосредственным приводом от электродвигателя с внешним ротором. Лопатки рабочего колеса загнуты назад. Вентилятор обеспечивает оптимальные рабочие характеристики: расход воздуха, уровень шума и КПД. Двух ступенчатая регулировка скорости вентилятора осуществляется с помощью встроенного трансформатора. Вентилятор легко извлекается из корпуса для осмотра и чистки. Для демонтажа вентилятора достаточно ослабить 4 винта.

Водяной воздухонагреватель установлен после вентилятора. Конструкция воздухонагревателя обеспечивает простое подключение трубопровода горячей воды с торцевой стороны агрегата. Нагреватель представляет собой теплообменник, выполненный из медных труб с алюминиевым ребром в корпусе из оцинкованной листовой стали. Можно

поменять левую сторону подключения на правую, вытащив и перевернув нагреватель (есть специальные отверстия для труб с заглушками).

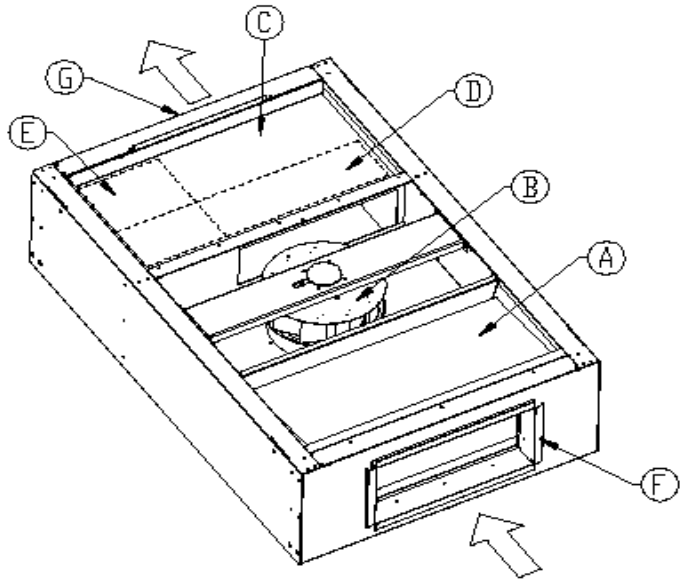


Рисунок 1 - Приточная установка ТА

А-фильтр приточного воздуха; У-приточный вентилятор; С-воздухонагреватель (электрический или водяник); D-соединительная коробка (агрегаты с водяным нагревателем); Е-соединительная коробка (агрегаты с электрическим нагревателем); F-входной фланец для присоединения воздуховода; G-выходной фланец для присоединения воздуховода

Теплообменник оснащен воздуховыпускным клапаном и защитой от замораживания по температуре обратной воды и по температуре воздуха на приливе. Электрический воздухонагреватель установлен после вентилятора. Нагревательный элемент выполнен из нержавеющей стали. Воздухонагреватель оснащен защитой от перегрева как с ручным, так и с автоматическим возвратом в рабочее состояние. Электрический воздухонагреватель поддерживает комфортную температуру приточного воздуха даже при низкой температуре наружного воздуха.

Мощность электрического воздухонагревателя зависит от температуры приточного воздуха, заданной с пульта управления, и регулируется с помощью регулятора Pulser. Таким образом, обеспечивается плавная регулировка температуры обработанного воздуха.

Агрегат можно укомплектовать секцией водяного воздухоохладителя, оснастив его водяным клапаном с электроприводом (питание 24В, управляющей сигнал 0-10 в). Алгоритм управления клапаном согласован с алгоритмом управления воздухонагревателем.

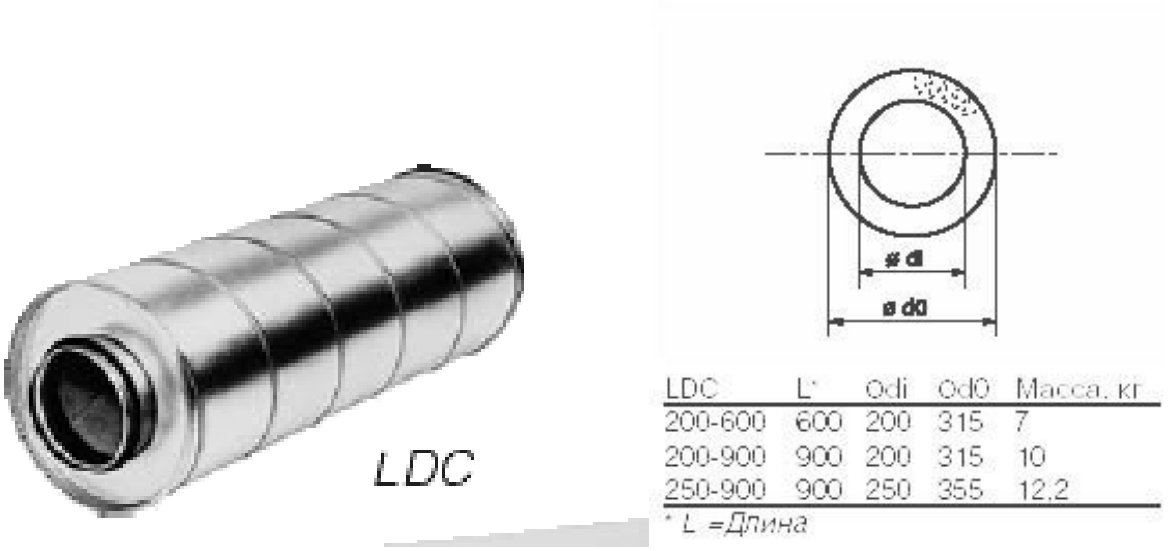
Вытяжной вентилятор подключается к агрегату и работает согласованно с приточным вентилятором. В качестве вытяжного вентилятора применяются 1-фазный вентилятор с регулировкой скорости путем изменения напряжения (для типоразмеров по 1500 включительно) и 3-фазный вентилятор с регулировкой скорости путем изменения напряжения (для типоразмеров 2000 и выше). Вытяжной вентилятор должен быть оснащен встроенными термоконтактами для защиты электродвигателя от перегрева.

Агрегаты в стандартной комплектации поставляются с карманными фильтрами класса EU5. Фильтр устанавливается перед вентилятором и воздухонагревателем. Фильтры крепятся на направляющей, что облегчает их монтаж и демонтаж для проведения осмотра и замены.

Начальное аэродинамическое сопротивление для моделей с ТА-650 по ТА-3000 составляет 60 Па, для модели ТА - 4500-70 Па. Конечное аэродинамическое сопротивление для всех моделей составляет 200-220 Па.

Как принадлежность камеры могут доукомплектовываться шумоглушителями. Расчет аэродинамического сопротивления шумоглушителя LDC, осуществляется как для круглых воздуховодов.

Приточные установки и укомплектованы системой управления, включая пульт и кабель (10м). Пульт управления с дружественным интерфейсом оснащен функциональными кнопками, индикаторами рабочего режима и аварии. Дисплей пульта подсвечивается.



LDC	L*	Odi	Od0	Масса, кг
200-600	600	200	315	7
200-900	900	200	315	10
250-900	900	250	355	12,2

* L =Длина

Рисунок 2 - Шумоглушитель LDC

Агрегаты и типоразмеров 450-1100 оснащены круглыми фланцами с резиновым уплотнением, агрегаты и типоразмером 1500-4500 оснащены прямоугольными фланцами для присоединения к воздуховоду.

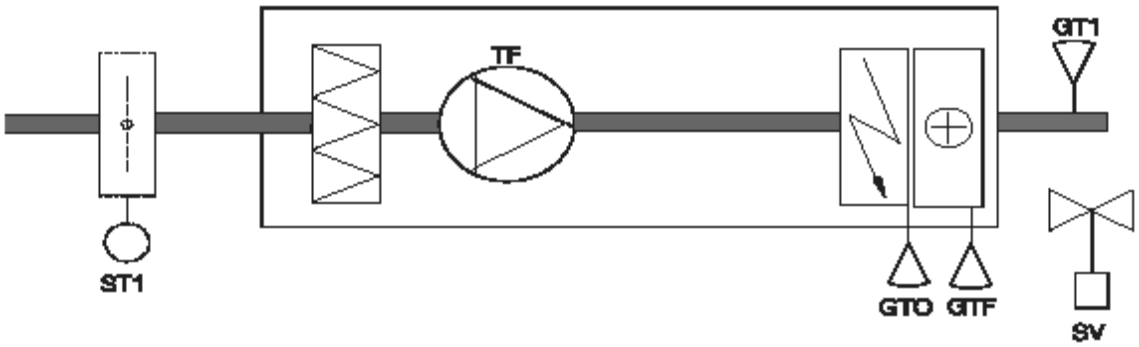


Рисунок 3 - Принципиальная схема приточной установки ТА:
TF-приточный вентилятор; GT1-Датчик температуры приточного воздуха (TG-KH/PT1000) (включен в комплект); SV-Водяной клапан с электроприводом (дополнительная принадлежность); GTO-Датчик защиты от перегрева (включен в комплект); GTF-Датчик защиты от замораживания (погружной) (включен в комплект); ST1 Клапан наружного воздуха с электроприводом (дополнительная принадлежность)

Компактные приточные установки КП (ВЕЗА)

Компактные приточные (КП) установки обеспечивают приток и обработку воздуха с производительностью 200...1000 м^3/час. Установки предназначены в основном для объектов гражданского строительства и могут применяться в качестве приточно-вытяжных и отопительно-вентиляционных устройств. Раздача воздуха может осуществляться как по сети воздуховодов, так и непосредственно в помещениях. Монтаж оборудования возможен практически в любом положении и на любой плоскости: на полу, потолке, стенах.

Применение этих установок более всего целесообразно в небольших помещениях с ограниченным объемом: коттеджи, небольшие магазины, рестораны, парикмахерские и другие аналогичные объекты.

Установки имеют моноблочную конструкцию: все функциональные элементы (вентилятор, фильтр, электрокалорифер, автоматика) объединены единым корпусом из специального профиля. В качестве внешнего ограждения служат панели толщиной 25 мм, изготовленные в виде плоских коробок из оцинкованной стали толщиной 0,7 мм, заполненных тепло - и звукоизолирующим негорючим материалом. Панели легко снимаются и могут быть окрашены.

Установки предназначены для эксплуатации в помещении в температурном диапазоне от минус 40 до 50 °С.

Использование компактных приточных установок КП целесообразно и эффективно, т. к. при относительно невысокой стоимости:

- установки занимают малый объем и не требуют значительных усилий на монтаж, подключение и эксплуатацию;
- они могут быть установлены в любом месте и в любом положении;
- большой набор дополнительного оборудования и аксессуаров позволяет оптимизировать величину затрат;
- при изготовлении КП используются только что хорошо зарекомендовавшие себя материалы и комплектующие, что обеспечивает высокий уровень надежности и долговечности оборудования;
- качественная изоляция корпуса минимизирует шум от работы вентилятора и теплопотери электрокалорифера;
- для очистки воздуха, подаваемого в помещение, используются эффективные легко заменяемые фильтры с разной степенью очистки;
- система автоматического управления (САК) практически исключает участие в управлении оператора, обеспечивая автоматическую регулировку подогрева подаваемого воздуха, защиту электрокалорифера от перегрева,
- ступенчатая смена скорости вращения вентилятора, Открытие и закрытие входного клапана.

Схема приточной установки КП изображена на рисунке 4.

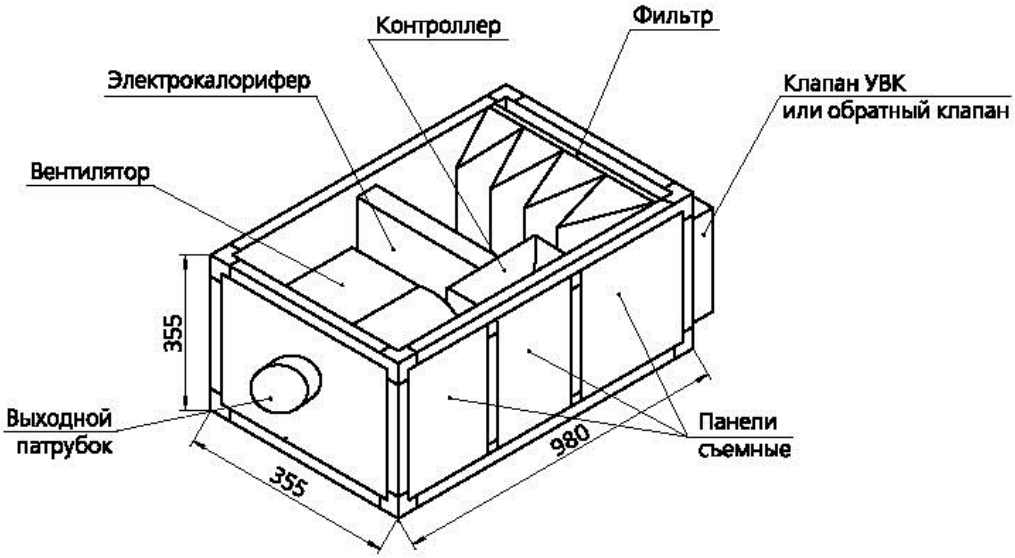


Рисунок 4 - Компактная приточная установка КП

Таблица 1 - Технические характеристики установок типа КП

Параметр	КП-6	КП-9
1	*2*	*3*
Водухопроизводительность, $м^3$/год: минимальная максимальная	 200 800	 200 800
Полная мощность электрокалорифера, кВт	6	9
Электрическая мощность вентилятора, Вт	355	355
Максимальный ток вентилятора, А	1,55	1,55
Число скоростей вентилятора	3	3
Напряжение питания установки	220/380В, 50Гц	220/380В, 50Гц
Масса, кг	43	45

При включении установки открывается воздушный клапан и запускается вентилятор со скоростью, установленной на пульте управления.

В момент снижения температуры, фиксируемой датчиком, расположенным в вентиляторном отсеке, ниже заданного значения происходит включение электрокалорифера. Электрокалорифер автоматически отключается, если температура на его поверхности повысится до 70 °С и (или) температура выходного воздуха достигнет 40 °С.

При выключении установки обеспечивается обдув в течение двух минут, что позволяет исключить их перегрев.

Благодаря малой высоте и длине приточные установки могут размещаться над подвесным потолком и под фальшполом; устанавливаться на полу, непосредственно у наружной стены; крепиться на строительных конструкциях (стенах, колоннах и т.д.) в вертикальном и горизонтальном положении. Опоры и подвески изготавливаются на месте монтажа.

Монтажные схемы установок КП изображены на рисунке 5.

При выборе установки необходимо сделать ее оценку по следующим характеристикам:

- воздухопроизводительность;
- свободное давление на выходе;
- степень очистки воздуха;
- мощность, необходимая для нагрева воздуха.

Установки комплектуются карманными фильтрами типа ФМ33 с классом очистки G3 или F5. Выбор конкретного фильтра определяется требованиями по чистоте воздуха, подаваемого в помещение. При этом стоит иметь в виду, что с повышением класса очистки увеличивается аэродинамическое сопротивление фильтра и, соответственно, падает свободное давление.

Таким образом, в результате исследования было обнаружено, что применение данных приточных агрегатов позволяет упростить подбор оборудования для обработки приточного воздуха, ускорить монтаж и подключение системы. Использование моноблочных камер целесообразно также потому, что они отличаются простотой регулировки (автоматизированные системы управления) и высокой надежностью при эксплуатации.

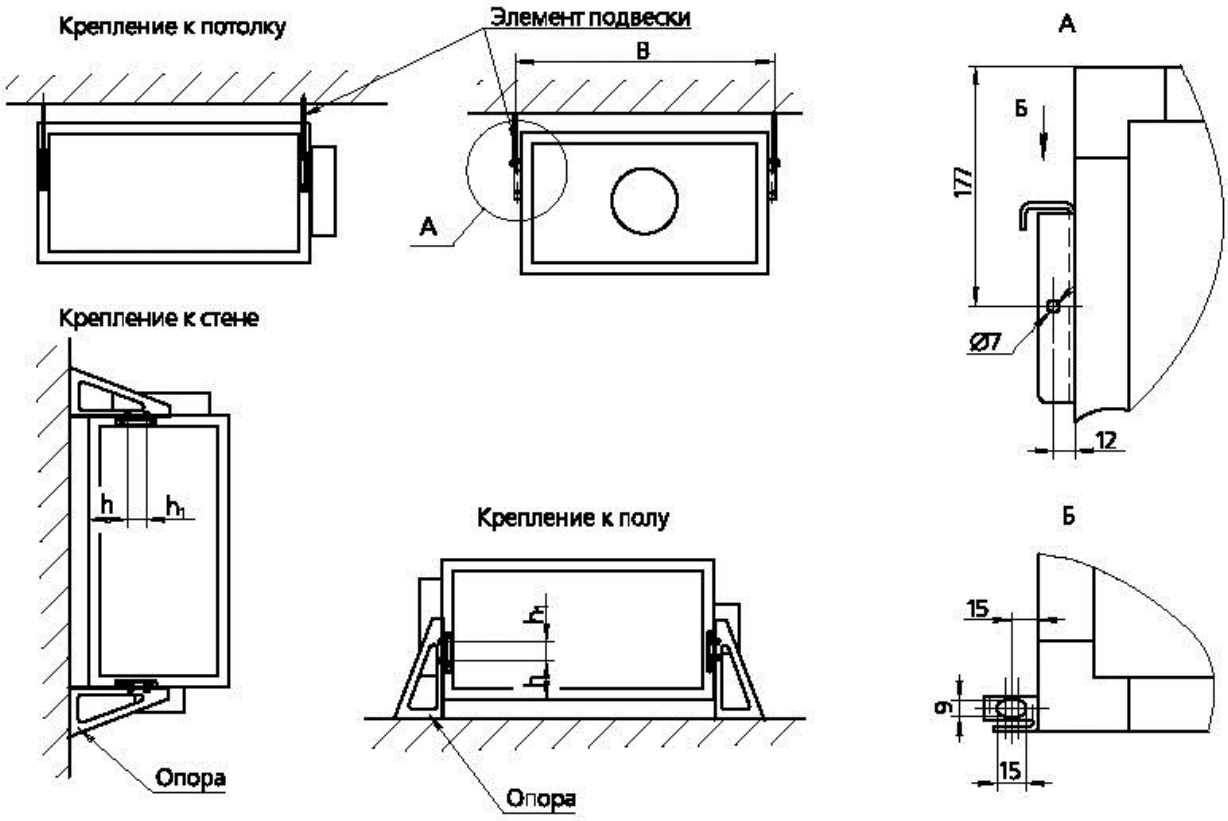


Рисунок 5 - Монтаж компактных приточных установок КП.

Список литературы

1. ТА 450-4500Air Handling Unit. Воздухообрабатывающий агрегат. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию.

2. ВЕЗА. Компактные приточные (КП) и вытяжные (КВ) установки. Каталог и техническое описание.

Варакин Данил Сергеевич,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Семенченко Андрей Игоревич,
магистрант гр. ТГВм-52 каф. ТТГВ**;**
Савич Дарья Владимировна,
старший препод. каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

В современных условиях и в перспективе один из важных путей повышения экономичности энерготехнологических установок — совершенствование теплообменного оборудования с помощью внедрения эффективных способов интенсификации теплообмена. К настоящему времени предложены и исследованы разнообразные методы интенсификации конвективного теплообмена. Проведен анализ существующих активных и пассивных методов интенсификации.

Ключевые слова: способы интенсификации, активный метода, пассивный метод, конвективный теплообмен.

Энерго- и ресурсосбережение можно рассматривать как оптимизацию энергетических и материальных потоков существующих технологических процессов для производства продуктов, а более широко — как поиск новых путей рационального использования энергии и сырья для получения тех же, а также новых продуктов. Достижение положительных результатов при экономии энергетических ресурсов возможно только при анализе промышленного энергоиспользования, уровней полезного использования энергии и энергетических потерь на разных участках промышленного предприятия, определении основных, наиболее эффективных путей экономии энергетических ресурсов в промышленности [1].

В современных условиях и в перспективе один из важных путей повышения экономичности энерготехнологических установок — совершенствование теплообменного оборудования с помощью внедрения эффективных способов интенсификации теплообмена. Посредством интенсификации теплообмена увеличивается количество тепла, передаваемого через единицу поверхности теплообмена, и, соответственно, уменьшаются массогабаритные показатели теплообменника; достигается более выгодное соотношение между передаваемым количеством тепла и мощностью, затрачиваемой на прокачивание теплоносителей. Высокое техническое качество интенсифицированного теплообменного оборудования улучшает общие характеристики энерготехнологических установок.

При разработке теплообменного оборудования используется довольно широкий перечень способов интенсификации, некоторые из них являются для теплоэнергетики достаточно традиционными: использование турбулентного режима течения теплоносителей, шероховатых поверхностей теплообмена, криволинейных каналов; уменьшение диаметра каналов; тесные пучки труб; повышение скорости течения сред; оребрение поверхности теплообмена; применение турбулизаторов потоков теплоносителей, псевдосжиженного слоя; устройство поперечных перегородок в трубном пучке.

Активное исследование и внедрение в промышленность различных методов интенсификации теплообмена обусловлены достижением больших практических результатов за счет уменьшения массы теплообменной аппаратуры или значительного повышения ее эффективности.

Интенсификация теплообмена и повышение энергетической эффективности теплообменных аппаратов представляют большой интерес и имеют огромное народнохозяйственное значение. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал по этой теме, как у нас в стране, так и за рубежом.

Уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов является актуальной проблемой. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы интенсификация теплообмена.

Опыт создания и эксплуатации различных тепломассообменных устройств показал, что разработанные к настоящему времени методы интенсификации теплообмена обеспечивают снижение габаритов и металлоемкости (массы) этих устройств в раза и более по сравнению с аналогичными серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей.

Исследования интенсификации теплообмена осуществляются в различных странах, причем в заметно возрастающем темпе.

Теплообмен интенсифицируют следующими способами[4-6]:

- повышают скорость теплоносителя, увеличивают радиационную составляющую;
- при кипении жидкости добиваются увеличением числа центров парообразования, улучшают условия отвода пара;
- при конденсации пара стремятся уменьшить термическое сопротивление пленки конденсата, повышают скорость движения пара и т.д.

Необходимо отметить, что при выборе на практике того или иного метода интенсификации теплообмена приходится учитывать не только эффективность самой поверхности, но и ее универсальность для различных однофазных и двухфазных теплоносителей, технологичность изготовления поверхности, технологичность сборки теплообменного аппарата, прочностные требования, загрязняемость поверхности, особенности эксплуатации и т. д.

Все эти обстоятельства существенно снижают возможности выбора одного из многочисленных исследованных методов интенсификации.

К настоящему времени предложены и исследованы разнообразные методы интенсификации конвективного теплообмена. Применительно к течению однофазных теплоносителей используются турбулизаторы потока на поверхности, шероховатые поверхности и поверхности, развитые за счет оребрения, закрутка потока спиральными ребрами, шнековыми устройствами, завихрителями, установленными на входе в канал, подмешивание к потоку жидкости газовых пузырей, а к потоку газа твердых частиц или капель жидкости, вращение или вибрация поверхности теплообмена, пульсации потока теплоносителя, воздействие на поток электростатических нолей, отсос потока из пограничного слоя, струйные системы. Эффективность этих способов различна, в лучшем случае удается увеличить теплоотдачу в 2-3 раза, но для разных способов интенсификации при существенно различных затратах энергии.

Интенсификация теплообмена при кипении обеспечивает не только рост теплоотдачи при пузырьковом и пленочном кипении, но и увеличение максимального теплового потока при пузырьковом и минимального при пленочном кипении, а также увеличение соответствующих критических температурных напоров, т. е. сдвиг кривой кипения в область более высоких температурных напоров и тепловых потоков. Необходимо отметить, что возможности интенсификации теплообмена при кипении гораздо большие, чем в однофазных потоках. Так, коэффициент теплообмена при пленочном кипении удается увеличить до 10 раз, а критический тепловой поток - более чем в 3 раза.

Наряду с турбулизаторами, закручивающими устройствами, оребрением для интенсификации теплообмена при кипении используют нанесение на поверхность тонких покрытий из низкотеплопроводного или пористого материала, устанавливают неизотермические ребра, используют шероховатые поверхности.

Для интенсификации теплообмена при конденсации предлагают турбулизаторы или ребра, разрушающие пленку конденсата, несмачиваемые покрытия, жидкие стимуляторы для создания капельной конденсации, закрутку потока или вращение поверхности теплообмена. Высокоэффективным часто оказывается применение комбинированных методов интенсификации: комбинирование турбулизаторов с оребрением поверхности или с закруткой потока, использование закручивающих устройств при течении суспензий, при кипении применение турбулизаторов с низкотеплопроводными покрытиями.

Классификация методов интенсификации теплоотдачи

Со ссылкой на исследования А.Е. Берглса приводится классификация шестнадцати методов интенсификации теплоотдачи, разделенных не пассивные и активные. Пассивные методы основаны на изменении теплообменной поверхности, включая установку дополнительны элементов, при этом увеличивается гидравлическое сопротивление каналов. В активных методах интенсификация теплоотдачи происходит за счет приложения внешней энергии для воздействия на поток.

Таблица 1 - Методы интенсификации (по А.Е. Берглсу):

Пассивные методы	**Активные методы**
1. Обработанные поверхности 2. Шероховатые поверхности 3. Развитые поверхности 4. Перемешивающие устройства 5. Устройства, закручивающие поток 6. Змеевики 7. Устройства поверхностного натяжения 8. Добавки для жидкостей 9. Добавки для газов	1. Механическое перемешивание 2. Вибрация поверхности 3. Пульсация потока 4. Электростатические поля 5. Инжекция 6. Отсос 7. Струйные аппараты
Сложные методы	
Два или более пассивных и/или активных методов одновременно	

Пассивные методы

1. Обработанные, текстурированные поверхности – теплообменные поверхности, имеющие мелкомасштабные непрерывные или дискретные деформации, созданные обработкой или покрытиями. Масштаб создаваемых возмущений недостаточен для однофазной теплоотдачи, используются для интенсификации кипения и конденсации.

2. Шероховатые поверхности – изменения формы поверхности, создающие турбулизацию потоковбез увеличения площади поверхности теплообмена. Масштаб структурирования поверхностей – от зернистой (песочной) шероховатости до дискретных трехмерных поверхностных выемок и/или выступов.

3. Развитые илиребристые поверхности, которые не только увеличивают площадь поверхности теплообмена, вносят организованное воздействие на поток.

4. Устройства перемешивания – вставки, предназначенные, в основном, для улучшения процессов переноса теплоносителя перпендикулярно от поверхности теплообмена в основной поток.

5. Устройства для закрутки потока в каналах в виде спиральных лент или шнеков, витые трубы, различные формы входа потока в канал (касательного к осевому направлению), вызывающие закрутку потока и возникновение и развитие вторичной циркуляции. Используются для однофазных и двухфазных потоков.

6. Змеевики. Закручивание труб позволяет увеличить компактность ТА и приводит к возникновению вторичных течений или вихрей в канале, повышающих теплоотдачу.

7. Устройства поверхностного натяжения в виде капиллярных или желобчатых поверхностей, которые направляют и увеличивают потоки жидкости к поверхностям кипения или от поверхностей конденсации.

8. Присадки для жидких теплоносителей – добавки твердых частиц и газовых пузырьков для уменьшения сил поверхностного натяжения при кипении.

9. Добавки в газовый поток капелек жидкости или твердых частиц (взвеси, псевдоожиженные слои) для интенсификации теплоотдачи из-за контактных взаимодействий дисперсной фазы с теплообменной поверхностью.

Активные методы

1. Механическое перемешивание жидкости или вращение поверхности теплообмена. Вращающиеся трубчатые теплообменники, регенеративные теплообменники с вращающейся пластинчатой или проволочной насадками, массообменные аппараты пищевых производств с погружными мешалками.

2. Вибрация поверхностей теплообмена с низкой или высокой частотой применяется при течении однофазных теплоносителей и дисперсных систем (виброожиженные слои)

3. Вибрация или пульсация потока жидкости с колебаниями в пределах от 1,0 Гц до ультразвука (около 1,0 МГц) используется при течении однофазных и двухфазных потоков.

4. Электростатические поля, которые могут быть в форме электрических или магнитных полей или комбинации этих двух полей, могут применяться в теплообменных системах. Также они способствуют перемешиванию жидкостей и побуждают вынужденную конвекцию или электромагнитное накачивание.

5. Инжекция используется в однофазных потоках для инжектирования той же самой или другой жидкости в основной поток.

6. Отсос пара сквозь пористую поверхность теплообмена при пузырьковом или пленочном кипении или отсос жидкости сквозь пористую поверхность теплообмен при однофазном течении.

7. Вдув перпендикулярно или по касательной к поверхности теплообмена нагреваемой или охлаждаемой жидкости с помощью форсунок при однофазном теплообмене и кипении.

Список литературы

1. Дзюбенко Б.В., Кузма-Кичта Ю.А., Леонтьев А.И. и др. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах. М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2008.

2 Калинин Э.К, Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998.

3. Берлин Ал.Ал., Минскер К.С., Дюмаев К.М. Новые унифицированные энерго- и ресурсосберегающие высокопроизводительные технологии повышенной экологической чистоты на основе трубчатых турбулентных реакторов. М.: ОАО «НИИТЭХИМ», 1996.

4. Коноплев А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Берлин Ал.Ал.. Эффективный метод интенсификации конвективного теплообмена. // Теорет. основы хим. технологии. 2004. Т. 38. №6. С. 634.

5. Коноплев А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Берлин Ал.Ал.. Конвективный теплообмен в глубоко профилированных каналах. // Теорет. основы хим. технологии. 2007. Т. 41. №5. С. 549.

6. Коноплев А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Берлин Ал.Ал.. Расчет локальных параметров интенсифицированного теплообмена. // Теорет. основы хим. технологии. 2007. Т. 41. №6. С. 692.

7. Коноплев А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Берлин Ал.Ал.. Об эффективности интенсификации теплообмена глубоким профилированием. // Теорет. основы хим. технологии. 2012. Т. 46. №1. С. 24.

8. Коноплев А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Берлин Ал.Ал.. О компактности трубчатых теплообменников. // Теорет. основы хим. технологии. 2012. Т. 46. №6. С. 639.

9. Коноплев А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Берлин Ал.Ал.. Об эффективных трубчатых теплообменниках. // Теорет. основы хим. технологии. 2015. Т. 49. №1. С. 65.

УДК 628.21

Григоренко Надежда Ивановна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ВВ и ОВР;
Машошин Николай Николаевич
Магистрант гр. ВВм-49а каф. ВВ и ОВР;
Соколенко Максим Андреевич
Магистрант гр. ВВм-49а каф. ВВ и ОВР,
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МЕТОДА РАСЧЕТА ОБЪЕМА ДОЖДЕВЫХ СТОКОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДОК

При разработке проектов систем отведения дождевых и талых вод на крупных предприятиях, включающих различные производства, или на предприятиях, обустройство которых отличается от аналогичных, поверхностный сток по количеству и составу примесей может заметно отличаться от расчетных или приведенных в укрупненных нормах, что должно учитываться при разработке технологии очистки и схемы отведения поверхностного стока. Кроме того, в отечественных и зарубежных литературных источниках представлено значительное количество методик для определения объема дождевого стока, которые в результате дают очень различные значения объемов стока. В данной статье рассмотрен метод порядковых кривых (CN-метод) и выполнено сравнение действующей методики расчета и метода порядковых кривых.

Ключевые слова: водоотведение, дождевой сток, коэффициент стока, метод порядковых кривых

В результате изменения ландшафтов и существующих поверхностных покрытий бассейнов стока меняется гидрологический баланс местности, резко увеличивается объем и пиковый расход поверхностного стока, что может привести к перегрузке водоотводящих сетей и сооружений, подтопления территорий и нарушению гидрологического баланса водоемов ниже места сброса сточных вод.

Важнейшим параметром, который должен быть адекватно определен во время проектирования систем дождевого водоотведения, является расчетный объем стока (или слой стока) определенной повторяемости.

По данным аналитического исследования литературных источников как отечественных, так и зарубежных [1, 3, 4], существует множество методик для определения объема дождевого стока, которые в результате дают очень различные значения объемов стока.

В методиках, которыми пользуются отечественные проектировщики, коэффициент стока, учитывающий потери дождевой воды на первоначальное задержание, инфильтрацию и испарение, принимается укрупненно в зависимости от вида покрытия [1]. При этом не учитываются климатические особенности бассейна стока, хозяйственное назначение территории, инфильтрационные характеристики грунтов и другие довольно важные факторы.

Количество воды, которое задерживается на поверхности бассейна стока, зависит от времени года, параметров дождя, типа и характеристик поверхностного покрытия бассейна стока. Во время выпадения дождей также происходят потери воды на испарение и

инфильтрацию в почву. По мере того, как почва во время выпадения дождя насыщается водой, все большее количество воды, выпадающей на бассейн стока, превращается в поверхностный сток. При этом среднегодовая высота слоя осадков, используемая в расчете годового объема стока при отсутствии местных гидрометеорологических данных, принимается по справочным данным [1, 4], которые сегодня, учитывая глобальные климатические изменения, заметно устарели.

Рассмотренные методики не учитывают хозяйственное назначение территории, тип почв на территории бассейна стока. Также в явном виде не учитывается высота начального задержания стока H_o, высота слоя насыщения $H_{нас}$, а также соотношение этих величин с расчетной высотой слоя осадков определенной повторяемости.

В целом средний коэффициент стока ψ_{mid} зависит от соотношения слоя осадков, высоты начального задержания, инфильтрационных характеристик бассейна стока. Существует большое количество математических моделей, описывающих взаимосвязь между этими величинами, разработанными еще в начале 20-го века (методика Грина и Эмпта, уравнение Ричардса и др.) [3]. Однако, из-за вычислительной сложности на практике данные методы не применяются.

Другой класс методов составляют так называемые индексные методы, среди которых наиболее известными являются метод Ф-индекса и метод порядковых кривых (CN-метод) [2,4], который позволяет рассчитать средний коэффициент стока по формуле 1:

$$\psi_{mid} = \frac{H_{ст}}{H_д} = \frac{(1-0{,}2H_{нас}/H_д)^2}{1+0{,}8H_{нас}/H_д} \quad (1)$$

где $H_{ст}$ - высота слоя стока, мм;

$H_д$ - высота слоя осадков одного дождя для определенного периода однократного превышения, мм;

$H_{нас}$ - высота слоя насыщения, характеризующий максимальные инфильтрационные возможности бассейна стока, мм.

По номограмме (рисунок 1) зная значение параметра CN (определяется в зависимости от вида грунта) и задаваясь величиной $H_д$ (определяется в зависимости от географического расположения объекта по данным гидрометеорологических наблюдений), получают значение для определения высоты слоя насыщения $H_{нас}$:

$$H_{нас} = 0{,}0254 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \quad (2)$$

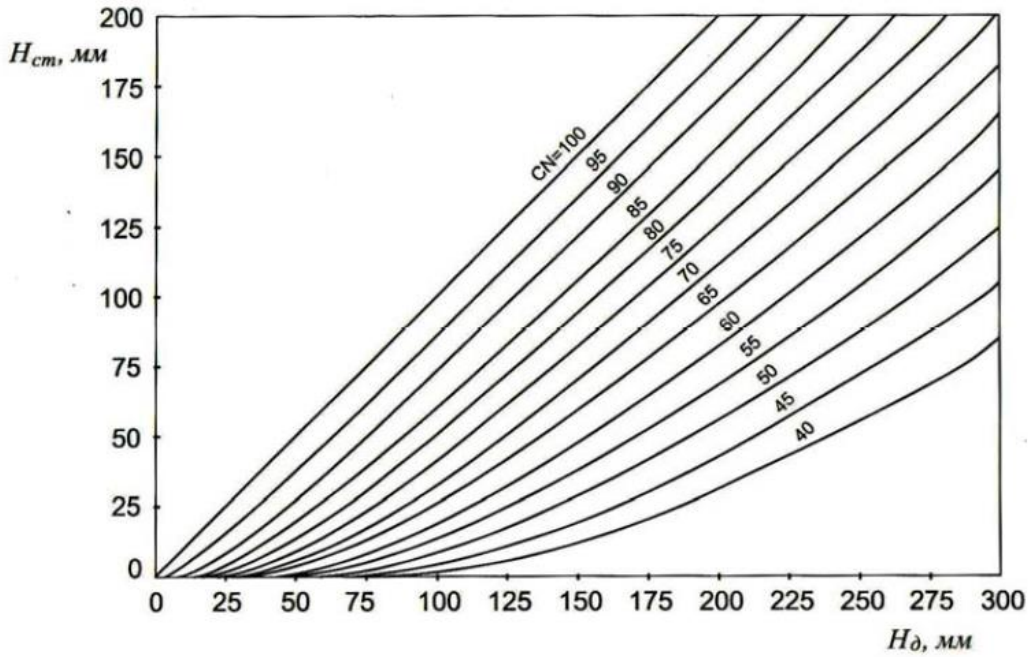


Рисунок 1 – Номограмма для определения высоты слоя дождя методом порядковых кривых [2, 4].

В данной работе по методу порядковых кривых для ряда городов, в частности Москва, Ростов-на-Дону и Донецк, определен средний коэффициент стока ψ для территорий промышленных площадок для различных типов грунтов. Данные расчетов представлены в виде таблиц и графиков. На обсуждение выносится расчет среднего коэффициента стока на территории промышленных площадок с процентом водонепроницаемых поверхностей 72% для группы почв А (песчаные и гравийные грунты значительной толщины) (таблица 1, рисунок 2).

Таблица 1 – Расчет среднего коэффициента стока на территории промышленных площадок с процентом водонепроницаемых поверхностей 72% для группы почв А

Период дождя		5	2	1	0,5	0,33	0,2
$H_д$	Москва	40	33	27	22	20	18,5
	Ростов-на-Дону	54	41	32	22	17	11,9
	Донецк	50	38	29	19	17	15,6
ψ_{mid}	Москва	0,84	0,81	0,78	0,74	0,71	0,70
	Ростов-на-Дону	0,88	0,84	0,81	0,74	0,68	0,58
	Донецк	0,87	0,83	0,79	0,70	0,68	0,65
$H_{нас}$ = 5,96 мм							

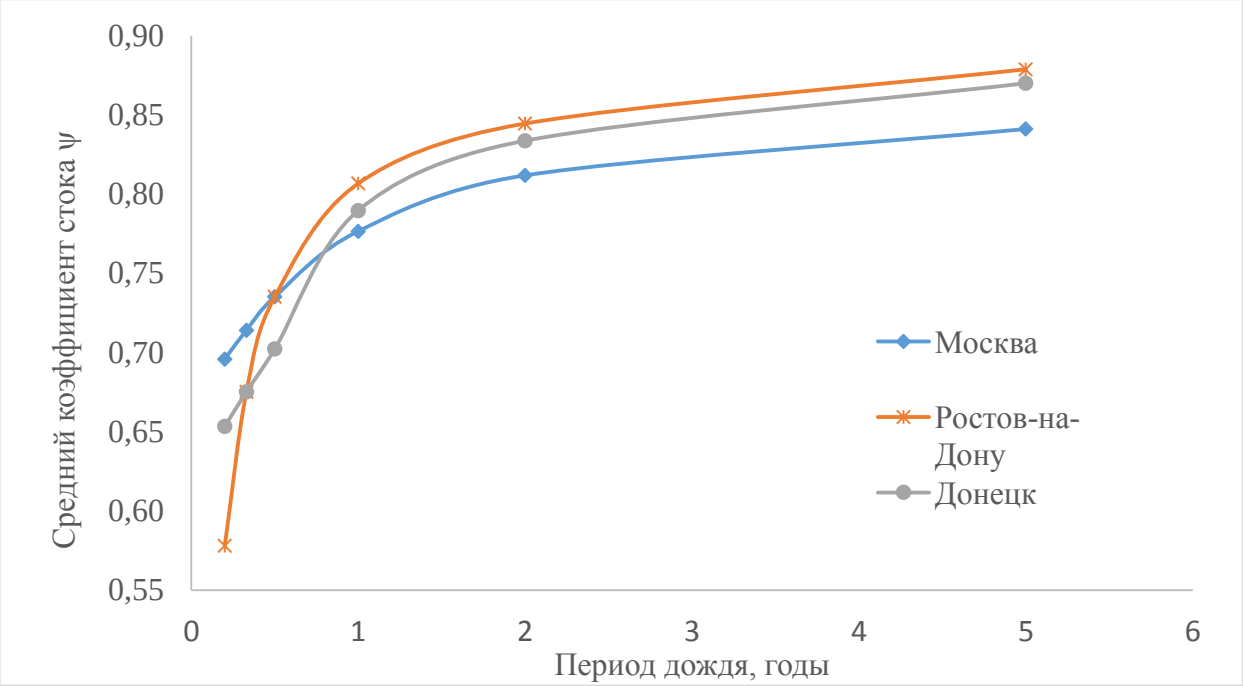


Рисунок 2 - Зависимость среднего коэффициента стока от периода дождей для промышленных площадок исследуемых городов для песчаных и гравийных грунтов.

Также представлены зависимости коэффициента стока от периода дождей для города Донецк для отдельных типов грунтов (грунт А - песчаные и гравийные грунты значительной толщин, имеют высокую скорость инфильтрации даже в полностью смоченной состоянии; грунт В - хорошо дренированные почвы с диапазоном фракций от среднемелких до среднебольших, средняя или большая толщина слоя; грунт С - почвы с подповерхностным слоем, который препятствует нисходящему движению воды или почвы с диапазоном фракций от мелких до среднемелких; грунт D - почвы, состоящие преимущественно из глин; почвы с постоянно высоким уровнем грунтовых вод; почвы с околоповерхностным расположением слоя глины или маломощные почвы, которые находятся над почти водонепроницаемыми породами [4]) (рисунок 3).

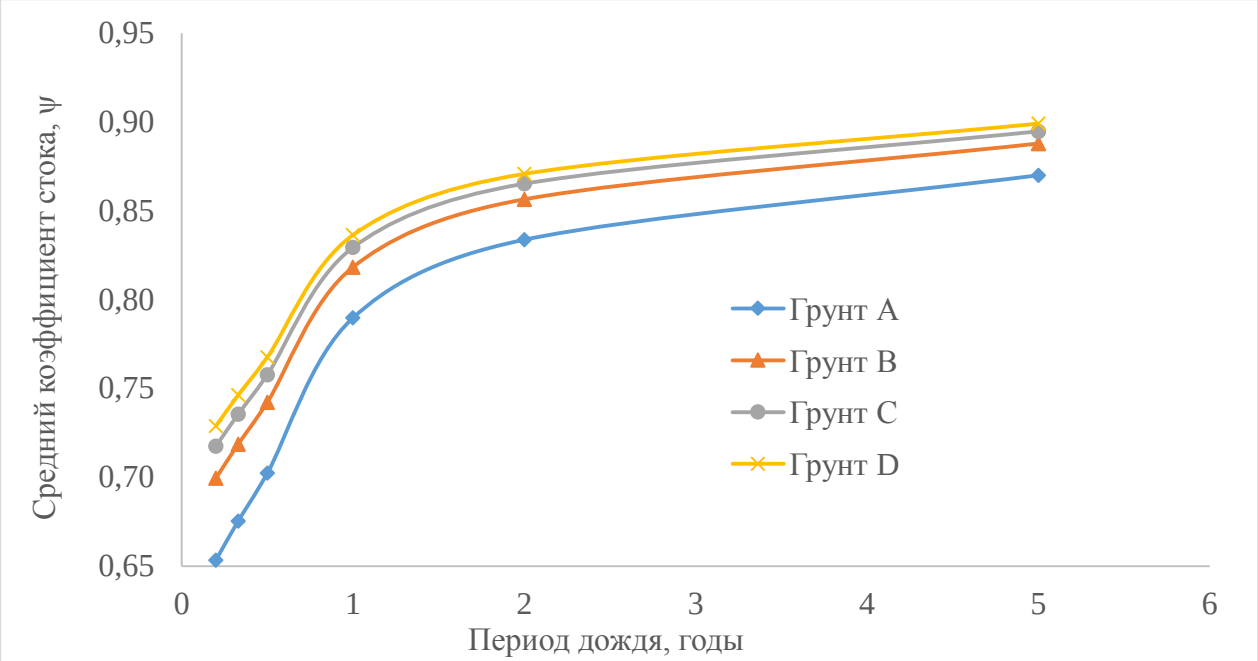


Рисунок 3 - Зависимость среднего коэффициента стока от периода дождей на территории промышленных площадок для различных типов грунта в городе Донецк.

Однако, несмотря на очевидные преимущества рассмотренного метода порядковых кривых, в нем существуют некоторые ограничения и недостатки. Во-первых, определение величины объема стока ограничено кривыми на диаграмме, которые строились на основе данных от модельных дождей и не учитывают дождей очень большой интенсивности, которые могут выпасть пусть и с малой вероятностью. Во-вторых, CN-метод дает слишком большую погрешность для дождей с высотой слоя осадков менее 13 мм и непригоден для бассейнов стока со средним взвешенным значением CN <40 [2].

Таким образом, предложена альтернатива для определения объема дождевых сточных вод от одного расчетного дождя определенной повторяемости с помощью метода порядковых кривых для территорий промышленных площадок таких городов как: Москва, Ростов-на-Дону и Донецк. Расчеты показали, что метод порядковых кривых дает значительно меньшие значения среднего коэффициента стока для одного расчетного дождя, чем по действующей методике.

Список литературы

1. Методическое пособие. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М. 2015. - 146 с.

2. Zhuk V., "Estimation of daily runoff coefficient of the pervious surfaces for the climate conditions of the city of Lviv. [Текст] / V. Zhuk, L. Vovk, P. Mysak // Environmental Problems. - 2020. - V. 5, No. 3. - P. 136-142.

3. Mays L.W. Stormwater collection systems design handbook [Текст] / Mays L.W. // McGraw-Hill Professional. - 2001. - 1008 p.

4. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. - 1986. - 164 p.

УДК 69.07

Золотухина Наталья Викторовна,
ст. преподаватель каф. архитектуры и дизайна
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко;
Чудина Татьяна Васильевна,
заведующая каф. архитектуры и дизайна,
БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА ТЕХНИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА ИМ. Ю. А. ГАГАРИНА В Г. ТИРАСПОЛЬ

Аннотация. В статье представлены результаты визуального обследования несущих конструкций здания учебного корпуса технического колледжа им. Ю. А. Гагарина в г. Тирасполь с выявлением дефектов и повреждений по внешним признакам с их фиксацией с целью выявления категории технического состояния конструкций здания.

Ключевые слова: конструкция, здание, техническое состояние, предварительное (визуальное) обследование, мониторинг, реконструкция, эксплуатация.

Техническое состояние здания или его конструктивных элементов при проведении обследования зданий – состояние, которое определяет, в какой стадии безопасности находится обследуемое здание или сооружение.

Обследование - комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих эксплуатационное состояние, пригодность и работоспособность объектов обследования и определяющих возможность их дальнейшей эксплуатации или необходимость восстановления и усиления.

Обследование строительных конструкций зданий и сооружений проводится, как правило, в три связанных между собой этапа: подготовка к проведению обследования; предварительное (визуальное) обследование; детальное (инструментальное) обследование.

Состав работ и последовательность действий по обследованию конструкций независимо от материала, из которого они изготовлены, на каждом этапе включают:

1. Подготовительные работы:

-ознакомление с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением, материалами инженерно-геологических изысканий;

-подбор и анализ проектно-технической документации;

2. Предварительное (визуальное) обследование:

- сплошное визуальное обследование конструкций зданий и выявление дефектов и повреждений по внешним признакам с необходимыми замерами и их фиксация.

3. Детальное (инструментальное) обследование:

- работы по обмеру необходимых геометрических параметров зданий, конструкций, их элементов и узлов, в том числе с применением геодезических приборов;

- инструментальное определение параметров дефектов и повреждений;

- определение фактических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций и их элементов;

- измерение параметров эксплуатационной среды, присущей технологическому процессу в здании и сооружении;

- определение реальных эксплуатационных нагрузок и воздействий, воспринимаемых обследуемыми конструкциями с учетом влияния деформаций грунтового основания;

- определение реальной расчетной схемы здания и его отдельных конструкций;

- определение расчетных усилий в несущих конструкциях, воспринимающих эксплуатационные нагрузки;
- расчет несущей способности конструкций по результатам обследования;
- камеральная обработка и анализ результатов обследования и поверочных расчетов;
- анализ причин появления дефектов и повреждений в конструкциях;
- составление итогового документа (акта, заключения, технического расчета) с выводами по результатам обследования;
- разработка рекомендаций по обеспечению требуемых величин прочности и деформативности конструкций с рекомендуемой, при необходимости, последовательностью выполнения работ.

Некоторые из перечисленных работ детального обследования могут не включаться в программу обследования в зависимости от специфики объекта обследования, его состояния и задач, определенных техническим заданием [1].

По результатам визуального обследования делается предварительная оценка технического состояния строительных конструкций, которое определяется по степени повреждения и по характерным признакам дефектов. Зафиксированная картина дефектов и повреждений может позволить выявить причины их происхождения и быть достаточной для оценки состояния конструкций и составления заключения.

Оценка технического состояния - установление степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций или зданий и сооружений в целом на основе сопоставления фактических значений количественно оцениваемых признаков со значениями этих же признаков, установленных проектом или нормативным документом.

Категория технического состояния - степень эксплуатационной пригодности строительной конструкции или здания и сооружения в целом, установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик конструкций.

Оценку категорий технического состояния несущих конструкций производят на основании результатов обследования. По этой оценке, конструкции подразделяются на: находящиеся в исправном состоянии, работоспособном состоянии, ограниченно работоспособном состоянии, недопустимом состоянии и аварийном состоянии.

При исправном и работоспособном состоянии эксплуатация конструкций при фактических нагрузках и воздействиях возможна без ограничений. При этом, для конструкций, находящихся в работоспособном состоянии, может устанавливаться требование периодических обследований в процессе эксплуатации.

При ограниченно работоспособном состоянии конструкций необходимы контроль за их состоянием, выполнение защитных мероприятий, осуществление контроля за параметрами процесса эксплуатации. Если ограниченно работоспособные конструкции остаются не усиленными, то требуются обязательные повторные обследования, сроки которых устанавливаются на основании проведенного обследования.

При недопустимом состоянии конструкций необходимо проведение мероприятий по их восстановлению и усилению.

При аварийном состоянии конструкций их эксплуатация должна быть запрещена [1].

Визуальное обследование строительных конструкций здания учебного корпуса технического колледжа им. Ю. А. Гагарина в г. Тирасполь проводилось в феврале 2023 года для получения предварительной оценки технического состояния конструкций здания. Необходимость оценки состояния конструкций производилась по инициативе собственника объекта, так как в здании были выявлены значительные дефекты, повреждения и деформации конструкций в процессе технического обслуживания, осуществляемого собственником здания, а также имели место аварии теплотрассы, проходящей вдоль здания. К тому же утеряна

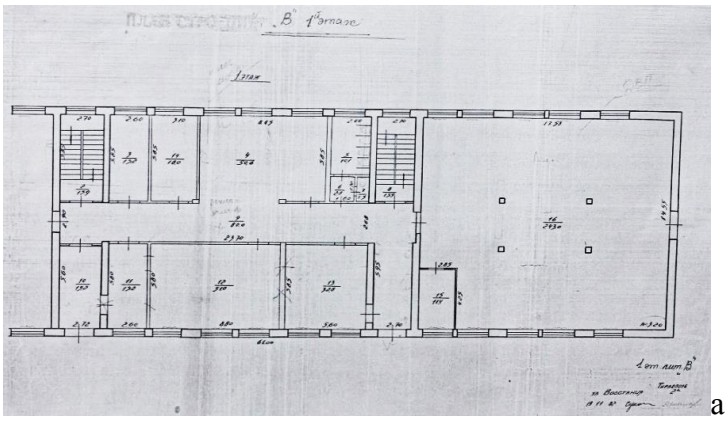
проектная документация на данный объект, в наличие имеются только инвентаризационные планы (рис.1).

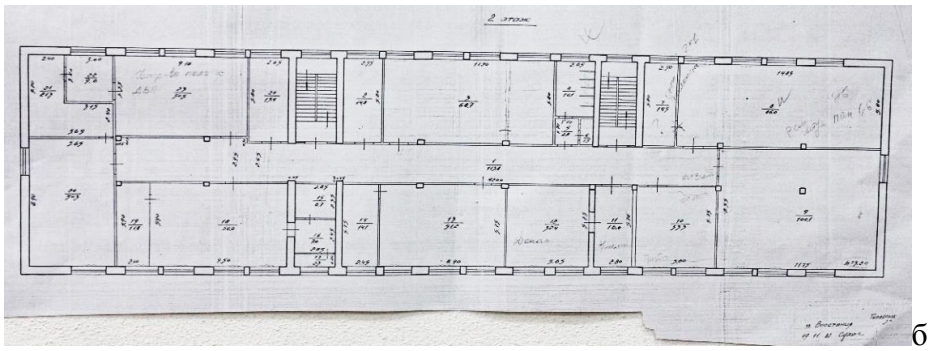
При выполнении работ по визуальному обследованию соблюдались требования действующего нормативного документа ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [2]. Далее представлены результаты обследования.

Характеристика здания учебного корпуса в соответствии с карточкой технической инвентаризации литера В от 10.12.1972 г.: здание трехэтажное без подвала, размеры здания 61,00 х 15,75 м, высота здания 10,85 м. Фундамент – бутобетонный, наружные и внутренние капитальные стены – котельцовые, перегородки – котельцовые. Перекрытие и покрытие – железобетонное. Крыша – совмещенная.

В результате предварительного визуального обследования выявлено:

Здание учебного корпуса с неполным каркасом, стены каменные котелцовые, колонны внутренние сплошные железобетонные консольные для опирания железобетонных поперечных ригелей (рис.1). Ригеля железобетонные прямоугольного сечения, перекрытие и покрытие - ребристые железобетонные плиты, опирание плит продольное на ригеля и несущие стены (рис.2).


а


б

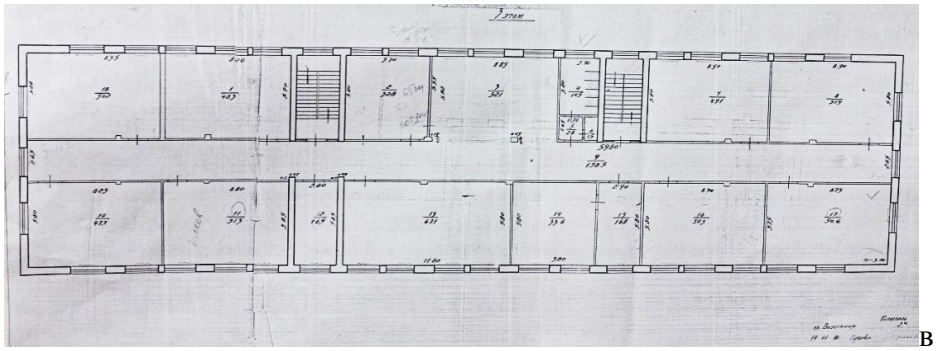

в

Рисунок 1 - Инвентаризационные планы учебного корпуса В:
а- план 1 этажа; б- план 2 этажа; в- план 3 этажа

1. Стены

Несущие стены выполнены из природного камня – известняка. Оценка категории технического состояния стен – работоспособное в соответствии с [2]. В наружных стенах правого крыла учебного корпуса у оконных проемов выявлены небольшие трещины (рис.3). Характер и расположение трещин указывают на наличие осадочных деформаций фундамента стены. Рекомендации: снятие штукатурного слоя с стен в местах наличия трещин для проведения мониторинга за характером развития трещин, а также устранение причин осадочных деформаций фундаментов стен.

Рисунок 2 - Плиты покрытия 3 этажа учебного корпуса

Рисунок 3 - Наружная стана учебного корпуса

2. Колонны

Колонны железобетонные сплошные консольные. Оценка категории технического состояния колонн – ограниченно работоспособное в соответствии с [2]. В коридоре 3 этажа визуально отмечается не соответствие отметок верха консолей колонн проектным (рис.4), в результате чего выявляется небольшой крен колонн и деформации в узловом соединении колонн с ригелями, что приводит к уменьшению жесткости соединения элементов. В месте соединения ригеля и колонны наблюдаются трещины в штукатурке (рис.5). Причиной возникновения наблюдаемых деформаций служит неравномерная осадка фундаментов колонн. Рекомендации: снятие штукатурного слоя с колонн и ригелей в местах наличия трещин, инструментальный осмотр соединения элементов между собой, а также устранение причин осадочных деформаций после детального (инструментального) обследования фундаментов колонн.

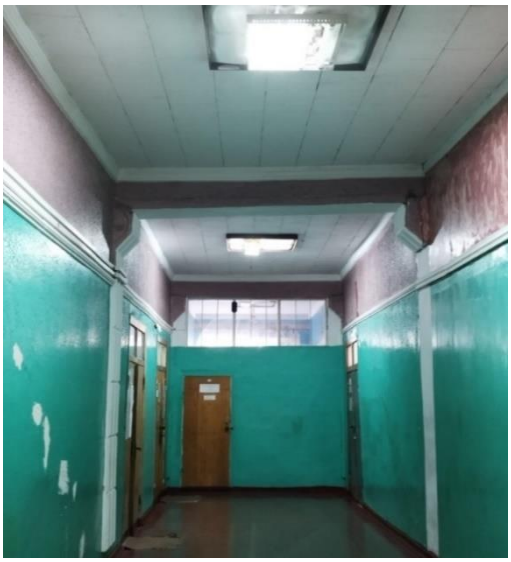


Рисунок 4 - Опирание ригеля на консоли колонн на 3 этаже учебного корпуса

Рисунок 5 - Трещины в штукатурке в узловом соединении колонн с ригелями (3 этаж учебного корпуса правое крыло)

3. Ригеля

Ригеля железобетонные сплошные прямоугольного сечения. Оценка категории технического состояния колонн – ограниченно работоспособное в соответствии с [2]. В коридоре 2 и 3 этажа учебного корпуса визуально отмечается изменение наклона ригелей вследствие оседания колонн (рис.4), наблюдаются деформации в узловом соединении элементов и нарушение его жесткости. В результате изменения геометрических размеров и проектных отметок ригелей, в узловом соединении с высшей отметкой консоли колонны, происходит деформация отрыва ригеля от колонны, данная деформация ведет к изменению отметок перекрытия и далее напольного покрытия 2 и 3 этажей в правом крыле корпуса (рис.6, 7). В узловом соединении ригеля и колонны наблюдаются трещины в штукатурном слое, а также выявлены трещины в штукатурном слое перегородок под ригелями (рис.6). Причиной возникновения наблюдаемых деформаций служит неравномерная осадка фундаментов колонн и стен, на которые опираются ригеля. Рекомендации: снятие штукатурного слоя с колонн, ригелей, стен и перегородок в местах наличия трещин, инструментальный осмотр соединения элементов между собой, а также устранение причин осадочных деформаций после детального (инструментального) обследования фундаментов колонн и стен.

а

б

в

г

Рисунок 6 - Трещины в штукатурке:
а - в узловом соединении колонны с ригелем; б – в перегородках под ригелем; в,г – в перегородках в коридоре под плитами покрытия (3 этаж учебного корпуса правое крыло)

Рисунок 7 - Трещина в напольном бетонном покрытии
(3 этаж учебного корпуса правое крыло)

4. Перекрытие и покрытие

Перекрытия сборные железобетонные из ребристых плит. Оценка категории технического состояния стен – работоспособное в соответствии с [2]. В плитах перекрытия и покрытия не выявлено существенных трещин, наблюдаются лишь небольшие следы коррозионных последствий подтекания старой плоской рубероидной кровли (рис.8, б). Изменение проектных отметок опирания плит на ригеля и несущие стены в результате осадок и крена колонн и стен, приводит к появлению трещин в перегородках под плитами перекрытия и покрытия (рис.8, а).

а

б

Рисунок 8 - Плиты покрытия:
а – трещины в штукатурке в месте опирания плиты; б – коррозионные последствия подтекания ранее плоской рубероидной кровли (3 этаж учебного корпуса правое крыло)

5. Крыша

Крыша – совмещенная малоуклонная, покрытая кровельным материалом - асбестоцементным шифером. Оценка категории технического состояния крыши – работоспособное в соответствии с [2].

6.Фундаменты

Фундамент – бутобетонный. По несущему остову можно судить о ленточном бутобетонном фундаменте под несущие стены и столбчатому фундаменту под железобетонные колонны. Все выше перечисленные деформации несущих конструкций здания учебного корпуса в большей степени вероятности могут служить следствием недопустимых деформаций фундамента в результате аварийного замачивания грунтов основания или наличия в основании сильно сжимаемых грунтов в соответствии с прил. Д Классификация и причины возникновения дефектов и повреждений в фундаментных конструкциях мелкого заложения по ГОСТ 31937-2011 (рис.9). На момент визуального обследования дать оценку технического состояния фундамента не является возможным.

	Недостаточная площадь сечения рабочей арматуры
Недопустимые деформации основания фундамента	Недостаточная опорная площадь подошвы фундамента.
	Аварийное замачивание грунтов основания.
	Дополнительное нагружение надфундаментных конструкций.
	Наличие в основании сильно сжимаемых грунтов

Рисунок 9 - Часть приложения Д Классификация и причины возникновения дефектов и повреждений в фундаментных конструкциях мелкого заложения по ГОСТ 31937-2011

Более точные данные по состоянию фундамента, глубине его заложения и целостности гидроизоляционного слоя могут дать результаты детального (инструментального) обследования в соответствии с ГОСТ 31937-2011 и СП 2-02-2003 [1, 2] и другими нормативным документам в данной области, которое должно проводиться лицензированной организацией на проведение обследований технического состояния зданий.

Заключение.

Для точной оценки технического состояния с установлением категории технического состояния строительных конструкций и здания в целом необходимы результаты детального (инструментального) обследования в соответствии с ГОСТ 31937-2011; СП 13-102-2003 и другими нормативными документами в данной области, которое должно проводиться лицензированной организацией на проведение обследований технического состояния зданий.

Текущее техническое состояние здания учебного корпуса на момент визуального обследования относится к категории 2 - ограниченно работоспособному состоянию – «категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, при которой имеются крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания, и функционирование конструкций и эксплуатация здания или сооружения возможны либо при контроле (мониторинге) технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтов основания и последующем мониторинге технического состояния (при необходимости)» [2].

Возможно также при проведении мероприятий по устранению деформаций основания, по усилению конструкций и увеличению жесткости узловых соединений несущих конструкций, привести здания учебного корпуса к категории 1 - работоспособное техническое состояние – «категория технического состояния здания, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, в конкретных условиях эксплуатации, не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций и грунтов основания, с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, обеспечивается» [2].

Список литературы

1. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2014. 95 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200034118

2. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. 95 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293781/4293781963.pdf

УДК 628.381

Могукало Анастасия Вадимовна,
аспирант каф. ВВ и ОВР;
Просяник Николай Владимирович,
магистрант гр. ЗВВм-52 каф. ВВ и ОВР;
Соколенко Максим Андреевич,
Магистрант гр. ВВм-49 каф. ВВ и ОВР,
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСАДКОВ ГОРОДСТИХ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. В данной статье описываются виды образующихся органических осадков, в виде сырого осадка после первичного отстаивания и избыточного активного ила. Проанализирована их характеристика, наличие биогенных элементов, которые позволяют использовать органический осадок повторно в промышленных отраслях.

Ключевые слова: сырой осадок, активный ил, биологическая очистка

Процесс очистки городских сточных вод сопровождается образованием органических сырых осадков после первичного отстаивания и избыточного активного ила после сооружений биологической очистки. Количество осадков на станциях очистки сточных вод, зависит от количества поступающих сточных вод, концентрации в них загрязнений, принятой технологии очистки, а также технологических параметров работы отдельных сооружений. Количество образующихся осадков обычно составляет 0,5…2 % от суточного притока сточных вод [1].

Сырые осадки первичных отстойников представляет собой серую или желтоватую студенистую вязкую массу, с кисловатым запахом включающая в основном оседающие взвешенные вещества: белки (20–30 % от массы сухого вещества), азотсодержащие соединения (1,5–8,0 %), целлюлозу (8–15 %), жиры и масла (6–30 %), углеводы (6–43 %), тяжёлые металлы, патогенные бактерии, вирусы. Органическая часть сырого осадка составляет 75-80 %, что приводит к быстрому загниванию и появлению неприятного запаха, выделяя различные газообразные продукты, в том числе и достаточно токсичные [2].

Необработанные сырые осадки являются опасными в санитарном отношении, так как являются благоприятной средой для сохранения и развития различных видов анаэробных микроорганизмов, в них долгое время сохраняют свою жизнеспособность яйца гельминтов, аскарид, а также другие виды болезнетворных микроорганизмов. Бактериальная загрязненность сырого осадка на порядок выше, чем сточных вод. Этот вид осадка относится к 4 классу опасности. Количество сырого осадка зависит от концентрации взвешенных веществ в поступающих сточных водах, а также эффективности работы первичных отстойников. Общее количество взвешенных веществ после подсушивания их при температуре 105 °С (по сухому веществу) равно 65 г на человека в сутки; количество оседающих взвешенных веществ в первичном отстойнике принимается 35-40 г на человека в сутки [3]. Рекомендуется сырые осадки подвергать анаэробному термофильному сбраживанию для получения биогаза и снижения микробной обсемененности с последующим кондиционированием, обезвоживанием и утилизацией. Необработанные сырые осадки складируются на иловых площадках и, как правило, вторично не используются [4].

Биологическая очистка городских сточных вод остается основным методом для защиты природных экосистем и здоровья человека. В процессе очистки микрофлора активного ила использует органические вещества для энергии и синтеза новой бактериальной массы собственных клеток [6]. Вторичные отстойники, которые в технологических схемах

располагаются непосредственно после аэротенков, предназначены для выделения избыточного активного ила из биологически очищенной воды [10].

В связи с образованием избыточного активного ила, возникает проблема обработки осадков, заключающаяся в снижении их влажности, уменьшении объема и обеззараживании от болезнетворных микроорганизмов. Основная часть избыточного ила складируется на иловых картах, где за счет естественной конвекции и радиационного теплообмена происходит его сушка [89].

По оценке экспертов, на сегодняшний день во всем мире ежегодно образуется порядка 20×10^9 тонн органических осадков сточных вод [6]. Только в Российской Федерации ежегодно образуется около 90 млн. куб.м. осадков при естественной влажности, что в пересчете на сухое вещество составляет порядка 2 млн. т. В других странах ежегодное образование осадка, млн. т.: Республика Беларусь – 200; Швеция – 180; США – 6; Франция – 1,3; Украина – 40 млн. т.; Китай – 34; Германия – 50; Нидерланды – 5,5 [7].

Остро стоит вопрос обработки органических осадков и в Донецкой области. По данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства ДНР в 2022 году эксплуатировалось 40 канализационных очистных сооружений суммарной производительностью 360 тыс. $м^3$/сут. При этом в ходе очистки сточных вод ежесуточно образуется порядка 10 тыс. куб.м. избыточного активного ила и 1,7 тыс. куб.м. сырого осадка естественной. влажности. Органические осадки без кондиционирования складируются на иловых площадках, под которые отведено более 500 га плодородных земель.

Согласно ведомственному паспорту Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса» [5], в таблице 1 приведены все виды, класс опасности, места размещения и годовое количество образующихся осадков городских сточных вод.

Таблица 1 – Характеристика осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод г. Макеевки

Вид осадка	Технологический процесс или производство, где образуется осадок	Класс опасности	Количество осадка, т/год	Размещение осадков
1	2	3	4	5
Мусор с решеток	Механические решетки	4	436,5	Размещение на полигоне
Песок	Горизонтальная песколовка	4	2100,0	Размещение на песковых площадках
Органический осадок сточных вод	Первичные и вторичные отстойники	4	9744,6	Стабилизация и размещение на иловых площадках

Влажность активного ила, выгружаемого из вторичных отстойников, выше влажности сырого осадка и составляет в среднем 99,2-99,7 % [4]. Причиной образования коагуляционной структуры в составе суспензии активного ила является выделение микроорганизмами в окружающую среду специфических высокомолекулярных веществ – биополимеров, которые

выполняют функцию защиты микроорганизмов от неблагоприятных условий среды и одновременно обладают флокулирующими свойствами.

При длительном хранении осадки подвержены быстрому загниванию, так как в своем составе содержат 70…80 % органических веществ и высокую патогенную обсемененность. В осадках сточных вод присутствуют все основные формы бактериальных микроорганизмов: кокки, палочки, спириллы. Из патогенных микроорганизмов встречаются возбудители желудочно-кишечных и других заболеваний [9]. Среднее количество индикаторных и патогенных микроорганизмов, таких как палочки коли, стрептококки, сальмонеллы, вирусы, а также яиц гельминтов, достигает миллионы и даже миллиарды в расчёте на 1 грамм сухого вещества. Органическая часть активного ила в основном представлена веществами белкового происхождения (около 50 %) при содержании жиров и углеводов соответственно до 30 и 10 %. Прирост активного ила, образующегося при биологической очистке, определяется не только концентрацией взвешенных и органических веществ по $БПК_{полн}$, но и нагрузкой при которой работают сооружения биологической очистки. Прирост активного ила в г/дм^3 вычисляется по формуле [6]:

$$P_i=0,8\cdot C_{cdp}+ K_g\cdot L_{en}\,, \qquad (1)$$

где: C_{cdp} – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, г/дм^3;

K_g – коэффициент прироста; для городских сточных вод $K_g = 0,3$;

L_{en} – полная биологическая потребность в кислороде поступающей в аэротенк сточной воды, г/дм^3.

Прирост ила, подсчитанный по формуле 1, как правило, является завышенным, так как не полностью учитываются процессы эндогенного дыхания.

После вторичного отстаивания, полученная биомасса, разделяется на два потока: возвратный ил возвращается обратно в аэробный биореактор, а избыточный ил направляется на дальнейшую обработку [2].

Элементарный состав сухого вещества осадков городских сточных вод изменяется в достаточно широких пределах. Сухое вещество сырых осадков содержит следующие компоненты, %: 35,4…87,8 углерода, 4,5…8,7 водорода, 0,2…2,7 серы, 7,6…35,4 кислорода. В составе сухого вещества активного ила содержится, %: 44,0…75,8 углерода, 5…8,2 водорода, 0,9…2,7 серы, 12,5…43,2 кислорода. Кроме того, в осадках могут содержаться соединения кремния, алюминия, железа, окиси кальция, магния, калия, натрия, цинка, хрома, никеля и др. (табл.2) [1].

Таблица 2 – Химический состав минеральной части сырого осадка и активного ила

Наименование компонента	Количественные значения показателей, %*	
	Сырой осадок	Активный ил
1	2	3
SiO_2	15-56	15-39
Al_2O_3	0,3-18,9	7-26,9

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Fe_2O_3	2,0-13,9	7-18,7
CaO	11,8-35,9	8,9-16,7
MgO	2,1-4,3	1,4-11,4
K_2O	0,7-3,4	0,8-3,9
Na_2O	0,8-4,2	1,9-8,3
SO_3	1,8-7,5	1,5-6,8
ZnO	0,1-0,6	0,2-0,3
CuO	0,1-0,8	0,1-0,2
NiO	0,2-2,9	0,2-3,4
Cr_2O_3	0,8-3,1	0-2,4

Как известно, осадки сточных вод содержат ценные удобрительные вещества, в состав которых входят азот, фосфор, калий и некоторые другие элементы и поэтому могут использоваться в качестве удобрений. Следовательно, для подробной характеристики осадков сточных вод особенно важно знать элементарный состав по азоту, фосфору и калию, чтобы оценить их удобрительную ценность. Содержание основных питательных элементов в термически высушенном осадке в зависимости от типа высушиваемого осадка приведено в таблице 3 [3].

Таблица 3 – Содержание основных питательных макроэлементов в термически высушенных осадках, % в сухом веществе.

Питательный элемент, %	Осадок первичных отстойников	Активный ил	Смесь осадка первичных отстойников и активного ила	Сброженная смесь сырого осадка и активного ила
1	2	3	4	5
азот	1,6…4,0	2,4…6,5	2,0…5,0	1,7…6,0
фосфор	0,6…5,2	2,3…8,0	1,0…6,0	0,9…6,6
калий	0,2…0,6	0,3…0,4	0,2…0,5	0,2…0,5

Из таблицы 2 видно, что наиболее ценным органическим удобрением особенно богатым азотом и фосфором является активный ил. Данные таблицы показывают, что содержание удобрительных веществ в осадках колеблется в достаточно широких пределах, что объясняется различием состава очищаемых городских сточных вод. Следует отметить, эти показатели лучше, чем у навоза от крупного рогатого скота, который характеризуется содержанием азота - 0,8%, фосфора - 0,19...0,28%, калия - 0,5...0,63%. Кроме того, осадки городских сточных вод могут содержать в своём составе и некоторые микроэлементы. Как показали анализы, термически высушенные осадки содержат в мг/кг сухого вещества: бора до

15, кобальта – 2…114, марганца – 60…715, меди – 75…3200, молибдена – 0,5…11, цинка – 40…5000 [1].

Таким образом, образующиеся на городских канализационных очистных сооружениях органические осадки, с экологической точки зрения являются не безопасными для окружающей среды вследствие особенностей своего состава и свойств. К ним следует отнести микробную зараженность осадка патогенными микроорганизмами и яйцами гельминтов, возможное содержание в осадках соединений тяжелых металлов, выделение в атмосферу, в результате быстро развивающихся анаэробных биологических процессов, разнообразных газообразных продуктов, в том числе токсичных. Все это вызывает необходимость в специальной обработке осадков с последующей их утилизацией.

Выводы

При очистке городских сточных вод образуется значительное количество органических осадков, которые не утилизируются, а складируются на иловых площадках, что приводит к экологической проблеме. Избыточный активны ил содержит большое количество органики и биогенных элементов, не имеет неприятного запаха. Перечисленные преимущества биологического ила предопределяют дальнейшее его повторное использование в качестве удобрительного материала.

Список литературы

1. Обработка осадков городских сточных вод. [Электронный ресурс]: учебное пособие / Хисамеева Л.Р., Селюгин А.С., Абитов Р.Н., Бусарев А.В., Урмитова Н.С. — Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет. ЭБС АСВ, 2016. — 106 с. — ISBN 978-5-7829-0496-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/73310.html.

2.Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков: теория и практика [Электронный ресурс] / Н. И. Куликов, А. Н. Ножевникова, Г. М. Зубов [и др.]; под редакцией Н. И. Куликов, А. Н. Ножевникова. —: Логос, 2014. — 400 с. — ISBN 978-5-98704-802-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/70739.html.

3. Куликов Н.И. Виды и характеристики осадков сточных вод. Н.И. Куликов, Л.Н. Приходько, журнале СОК №11 | 2019 (стр. 42-45).

4. Седин В. А., Седин А. В., Прокопеня И. Н., Шимукович А. А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод. Журнал Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009

5. Паспорт места удаления отходов Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса»: Отчет годовой / Макеевское ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса». – Макеевка. – 20 с.

6. Лобовников, А. О. Эколого-экономическая эффективность использования наилучших доступных технологий утилизации осадков сточных вод / А. О. Лобовников, Ю. В. Завизион. – Текст: электронный // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: – 2013. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-effektivnostispolzovaniya-nailuchshih-dostupnyh-tehnologiy-utilizatsii-osadkov-stochnyhvod/viewer.

7. Смирнов, В. Б. Использование осадков сточных вод для биологической рекультивации / В. Б. Смирнов, Т. И. Попова, С. Д. Беляева, М. И. Петров // Журнал «Вода Magazine», 2017. – № 6. – С. 12–15.

8. Ахмадеев, В. В. Применение метода ультрафиолетового облучения для обеззараживания сточных вод / В. В. Ахмадеев. – Текст: непосредственный // Вода и экология: проблемы и решения. – 2000. – № 2. – С. 33–42.

9. Сибиева, Л.М. Состав микробного сообщества активного ила в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод / Л.М. Сибиева, И.А. Дегтярева, А.С. Сироткин, Э.В. Бабынин // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, N 2. С. 302–312. DOI: 10.21285/2227- 2925-2019-9-2-302-312.

10. Сидорова, Л.П. Очитка сточных и промышленных вод. Биологическая очистка. Активный ил. Оборудование / Л.П. Сидорова, А.Н. Снигерева // Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург 2017. С. – 127.

УДК 628.165(0,8)

Ручка Владислав Владиславович,
ассистент каф. ВВ и ОВР;
Соловьев Сергей Сергеевич,
магистрант гр. ВВм-50 каф. ВВ и ОВР,
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В данной статье рассмотрены основные схемы очистки шахтных вод, выполнен расчет сооружений необходимых для очистки воды СП "ВОК ЛШ "Советская", расположенной в городе Макеевка, приведены рекомендации по использованию шахтных вод в качестве дополнительного источника водоснабжения, а также рекомендации по утилизации пермеата.

Ключевые слова: шахтные воды, катионитный фильтр, обратноосмотическая установка, пермеат, ультрафиолетовая установка, общая жесткость.

Шахтные воды являются попутным продуктом добычи угля. В их состав входят атмосферные, гидрологические, гидродинамические, а также горнотехнологические воды. С увеличением глубины разработки горных пород, наблюдается увеличение дебита шахтных вод.

По своей сущности шахтные воды Донецкого региона это минерализованные подземные воды, загрязненные дополнительно взвешенными веществами, бактериальными примесями и минеральными солями.

В зависимости от концентрации минеральных солей (С, г/дм^3), жесткости (Ж, мг-экв/дм^3) и щелочности (Щ, мг-экв/дм^3) шахтные воды Донецкого бассейна разделяют на три группы:

1 группа: С=1,5-1,8; Ж<10-12; Щ=8-12.

2 группа: С=3-3,5; Ж<10-12.

3 группа: С>3,5; Ж>12.

В связи со сложной обстановкой обеспечения населения и промышленных предприятий питьевой водой шахтные воды необходимо рассматривать как дополнительный резерв хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В качестве дополнительного источника водоснабжения рассмотрена шахтная вода СП "ВОК ЛШ "Советская", расположенная в городе Макеевка. Данные воды относятся к 3 группе загрязнений. Перед подачей воды в систему, ее необходимо довести до нормативных показателей. Согласно ГСанПиН 2.2.4-171-10 общая жесткость не должна превышать 7 мг-экв/дм^3, содержание сульфатов должно быть не более 250 мг/дм^3.

Нами рассмотрены основные методы умягчения (удаления из воды ионов кальция и магния, обуславливающих общую жесткость):

- Реагентный
- Термический
- Термохимический
- Катионитный
- Обратноосмотический

В практике водоснабжения наибольшее распространение получили реагентный, катионитный и обратноосмотический способы.

Реагентный способ основан на осаждении из воды кальция и магния в виде солей путем добавления извести. Доза извести $Д_и$, мг/дм^3, для снижения общей жесткости до 7 мг-экв/дм^3, считая по CaO, определяется по формуле:

$$Д_и=28[(CO_2)/22+ (CO_2)/22+(Mg^{2+})/12,2+(Ca^{2+})/20-7] \quad (1)$$

где (CO_2) — концентрация в воде свободной двуокиси углерода, мг/дм^3;

(Ca^{2+}) — содержание в воде кальция, мг/дм^3;

(Mg^{2+}) — содержание в воде магния, мг/дм^3;

Согласно расчетам, для снижения жесткости вод шахты «Советская», необходимо добавить 140,8 г/м^3 извести. При обработке содержание ионов кальция снижается до 0 мг-экв/дм^3, а содержание ионов магния до 7 мг-экв/дм^3, что соответствует требованиям ГСанПиН 2.2.4-171-10, однако данным способом невозможно снизить содержание сульфатов.

Катионитный метод основан на реакции обмена ионов. В результате на поверхности ионита сорбируются ионы кальция и магния, а в воду поступает эквивалентное количество ионов натрия. Солесодержание воды при этом повышается, поскольку ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} имеют эквивалентную массу 20 и 12,2 соответственно, а ион натрия – массу 23, следовательно, данный метод также нерационально применять для очистки вод шахты «Советская».

Обратноосмотический метод основан на способности мембран из некоторых материалов пропускать через себя под давлением только молекулы воды и задерживать ионы растворенных солей. Для очистки воды применяют мембраны из полиамидов, ацетатцелюлозы и полисульфона. Данный метод позволит снизить содержание ионов кальция и магния на 99,6%, сульфатов на 99,8%, общее солесодержание снижается на 98,4%.

Средняя концентрация загрязнений в смеси вод определяется по формуле, общей для всех загрязнений:

$$C_{en} = \frac{C_{dom}Q_{dom}+C_{ind}Q_{ind}}{Q_{dom}+Q_{ind}}, \quad (2)$$

где C_{en} - средняя концентрация загрязнений в смеси вод, мг/л;

C_{dom}, C_{ind} - концентрация загрязнений соответственно до и после смешения, мг/л;

Q_{dom}, Q_{ind} - расходы смешиваемых вод, м^3/час.

При прохождении через мембраны на выходе получается пресная вода, которая из-за низкого солесодержания не подходит для питьевых целей. Для решения этой проблемы рекомендуется разбавлять очищенную воду с исходной в соотношении 450 м^3/час и 120 м^3/час соответственно, что позволит получить воду питьевого качества и снизить себестоимость очистки воды. Тогда концентрация сульфатов в очищенной воде составит:

$$C_{SO_4} = \frac{2,23 \cdot 450 + 1117 \cdot 120}{450 + 120} = 237 \text{ мг/дм}^3,$$

А общее солесодержание:

$$C_{\text{C}} = \frac{43,84 \cdot 450 + 2740 \cdot 120}{450 + 120} = 611,5 \text{ мг/дм}^3.$$

В настоящее время стоимость обратноосмотической установки составила 150 млн. рублей.

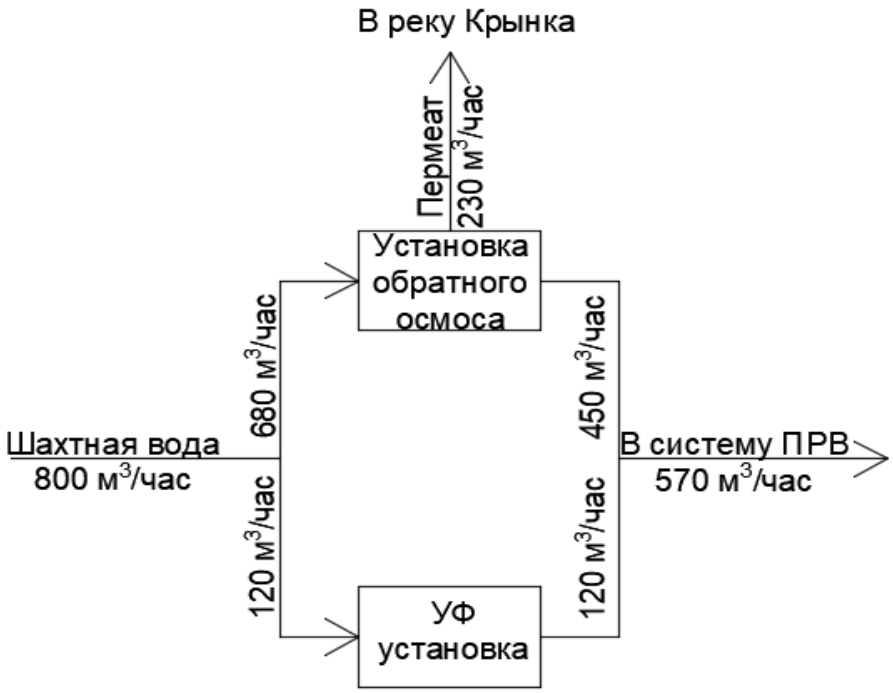


Рисунок 1 – Схема очистки шахтных вод СП "ВОК ЛШ "Советская".

Однако существует еще несколько проблем, без решения которых данная технология будет не эффективна.

- Обеззараживание исходной воды;
- Решение проблемы утилизации пермеата после опреснения.

Для решения первой проблемы рекомендуется применять установку обеззараживания воды ультрафиолетом, например, УФУ-150 стоимостью 500 тыс. рублей.

Вторую проблему решается путем разбавления пермеата водами реки Крынка. По существующей открытой водосбросной системе пермеат попадает в реку Крынка и затем в Азовское море.

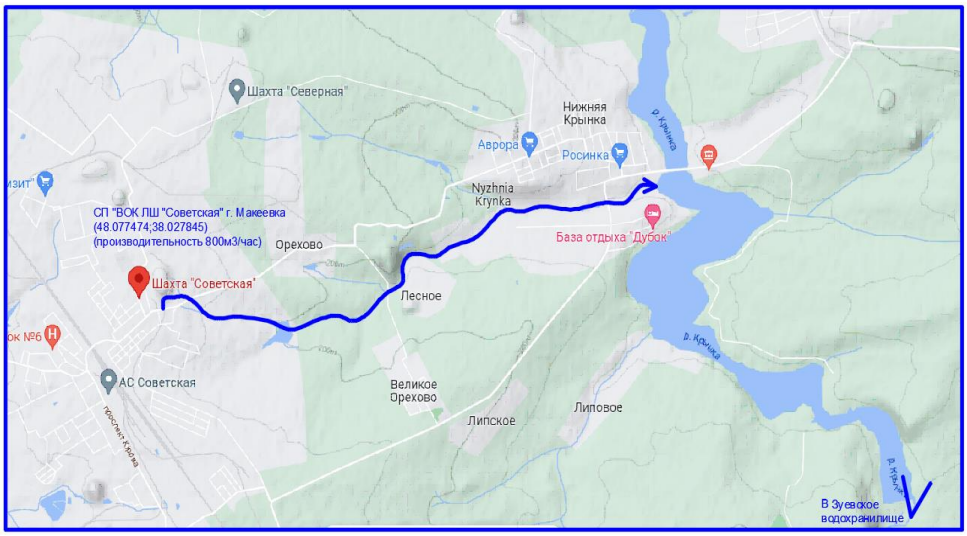


Рисунок 2 – Схема сбросного канала в реку Крынка

При смешении пермеата с водой реки солесодержание уменьшится, что не повлечет за собой каких-либо экологических проблем. Солесодержание реки, после смешения составит:

$$C_{\text{П}} = \frac{1000 \cdot 10800 + 3217 \cdot 230}{10800 + 230} = 1046{,}2 \text{ мг/дм}^3.$$

Вывод. Шахтная вода после обратноосмотической установки смешивается с исходной в пропорции 450 м^3/час и 120 м^3/час соответственно, при этом исходная вода предварительно обеззараживается с помощью ультрафиолетовой установки. Пермеат после обработки воды рекомендуется сбрасывать в реку Крынка.

Список литературы

1. Найманов А.Я., Никиша С.Б., Насонкина Н.Г., Омельченко Н.П., Найманова А.А., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Водоснабжение : учеб. пособие: Донецк: Норд-Пресс, 2004 – 649 с.
2. Сборник докладов VIII Международной научной конференции аспирантов и студентов. Т. 2-Донецк: ДонНТУ, 2009 – 158 с.
3. Черкасов С.В. Обратный осмос. Теория и практика применения [Электрон. ресурс] // Мировые водные технологии : [сайт]. [2009]. URL: https://wwtec.ru/index.php?id=233 (дата обращения: 01.03.2023).

УДК 621.643

Мойсеев Даниил Владимирович,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Форманюк Людмила Витальевна,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Шацков Артем Олегович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Проблема безопасности и надёжности распределительных систем газоснабжения становится более острой в последнее время. Это связано как с масштабной программой газификацией до 2030 года, так и износом уже существующих сетей. При этом действующие нормы проектирования учитывают только показатели надёжности, но не экономичности, что также замедляет темпы газификации. Поэтому разработка новых методов оптимизации газовых сетей является актуальной.

Ключевые слова: распределительные газовые сети, надёжность, аварийность, статистический анализ

В энергетической стратегии России на период до 2030 года [1] отмечено: «Стратегическими целями развития газовой промышленности являются: стабильное, бесперебойное и экономически эффективное удовлетворение внутреннего и внешнего спроса на газ; развитие единой системы газоснабжения и ее расширение на восток России, усиление на этой основе интеграции регионов страны; совершенствование организационной структуры газовой отрасли с целью повышения экономических результатов ее деятельности и формирования либерализованного рынка газа; обеспечение стабильных поступлений в доходную часть консолидированного бюджета и стимулирование спроса на продукцию смежных отраслей».

Современные распределительные системы газоснабжения имеют ярко выраженную иерархичность в построении, связанную с классификацией газопроводов по давлению. Они представляют собой сложный комплекс сооружению, состоящих из множества элементов, составляющих многоступенчатую структуру (рис. 1) [2].

Несмотря на то, что Российская Федерация занимает первое место по доказанным запасам и второе место по добыче природного газа в мире, во многих федеральных округах уровень газификации является достаточно низким.

Темпы роста газификации в стране устойчивые, но недостаточные, поэтому вопрос о газификации многих населенных пунктов в России до сих пор стоит очень остро [3].

Кроме того, к одной из проблем газовой отрасли в РФ относится изношенность существующих газопроводов. С учетом срока службы стальных газопроводов в настоящее время необходимо принимать решения по их реконструкции и замене.

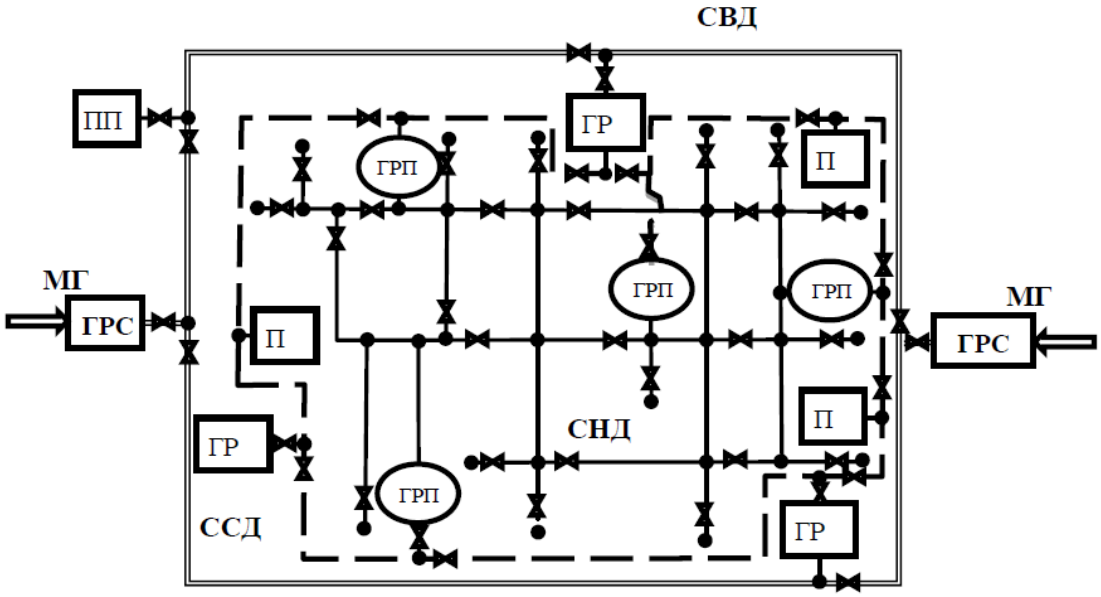


Рисунок 1 – Трехступенчатая система газоснабжения: СВД – сеть высокого давления; ССД – сеть среднего давления; СНД – сеть низкого давления; ПП – промышленное предприятие; МГ – магистральный газопровод; ГРС – газораспределительная станция; ГРП – газорегуляторный пункт

В настоящее время в сфере газоснабжения прослеживается ряд значимых проблем, связанных с текущим функционированием и развитием газораспределительных сетей, среди которых следует отметить [4]:

- опережение роста газопотребления от существующих газораспределительных сетей над темпами развития самих газораспределительных систем, в связи с чем большинству из них приходится работать в нерасчетных условиях, что ведет к частым нарушениям режимов газоснабжения потребителей;

- высокую аварийность оборудования, обусловленную низкой производственной дисциплиной персонала, недостатками управления, а также старением основных фондов топливно-энергетического комплекса (в газовой промышленности - почти 60 процентов). В связи с этим возрастает вероятность возникновения аварийных ситуаций в энергетическом секторе экономики.

Отсутствие единых технических требований к оборудованию, материалам и технологиям противокоррозионной защиты привело к тому, что на газораспределительных сетях используется разношёрстное оборудование, имеющее низкие технико-экономические показатели, некоторые виды технических устройств сняты в производства. Это затрудняет его эксплуатацию, осложняет анализ эффективности систем электрохимической защиты.

Несовершенство нормативно-правовой и научно-методической базы, которая не обеспечивает необходимую технологическую взаимосвязь с объектами Единой системы газоснабжения и оперативное внедрение современных материалов, технологий и оборудования. Решение проблемы достигается путем обеспечения единой технической политики при реализации «Программы газификации регионов РФ» и укрепления нормативно-правовой базы взаимодействия, основу которой составляют соглашения о сотрудничестве с субъектами РФ. На конец 2005 г. действовали соглашения о сотрудничестве с 72 регионами России. В «Программу газификации России» на 2016 год включены 67 регионов [6]. Особого внимания заслуживает комплекс предлагаемых мер по решению данной проблемы в области внедрения альтернативных источников газоснабжения, а именно: разработка федеральных и

отраслевых нормативно-правовых и технических документов по вопросам проектирования, строительства, эксплуатации объектов автономной газификации, разработка стратегий программ и планов по реализации проектов автономной газификации, организационно-распорядительной документации (положений, регламентов) по использованию альтернативных источников газоснабжения. [6]

Наконец, существует проблема поддержания технического состояния существующих распределительных сетей на уровне, обеспечивающем безопасную эксплуатацию пожаро-, взрывоопасных объектов, а также надёжную и стабильную поставку газа потребителям [7]. В связи с этим необходимо проведение комплексных работ по поддержанию технического состояния ранее построенных объектов системы газоснабжения и газификации и мероприятий по реконструкции системы газоснабжения в целях повышения надёжности поставки газа в регионы. Согласно Генеральной схеме развития газовой отрасли России на период до 2030 г. установленные тарифы для газораспределительных организаций не позволяют выполнять требуемые объёмы работ по реконструкции и техническому перевооружению газораспределительных сетей. Из-за низких тарифов работники газораспределительных организацию получают самую низкую заработную плату в Топливно-энергетическом комплексе, что порождает текучесть кадров и снижение уровня квалификации специалистов ГРО. В связи с этим остро стоит проблема кадрового обеспечения [7].

ГРО среди других газовых компаний наиболее всего технологически приближены к конечному потребителю, являются непосредственными участниками социально значимых проектов газификации. Их доходы определяются государственной тарифной политикой, а расходы – объемом и стоимостью факторов производства, приобретаемых на региональных рынках. Поэтому экономический потенциал ГРО – в определённом смысле зеркало состояния дел в разрешении изложенных проблем [7].

Необходимо провести анализ экономического потенциала ГРО, выявить тенденции, складывающиеся в газораспределении в целом и в отдельных группах предприятий, а также понять причины нынешнего положения. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- сформировать статистическую базу с публичными сведениями финансового характера, а также данными о технических параметрах эксплуатируемых сетей газораспределения;
- провести анализ динамики развития и текущего состояния экономического потенциала каждой из ГРО;
- выявить складывающиеся закономерности в изменении экономического потенциала;
- выяснить причины, обусловившие текущее состояние ГРО;
- проверить гипотезу о взаимосвязи экономического потенциала ГРО и уровня конкурентоспособности региональной экономики;
- провести классификацию ГРО и выявить общие проблемы и риски, характерные для выявленных типов.

Для предотвращения перебоев в газоснабжении распределительные системы должны быть спроектированы в соответствии с требованиями надежности, а их эксплуатация должна быть организована таким образом, чтобы профилактические ремонты и своевременная замена оборудования позволяли выдерживать принятый уровень надежности в течение всего срока службы системы.

Основные причины снижения эксплуатационной надежности газораспределительных систем известны. К ним относятся следующие [2]:

- отсутствие гармонизации развития населенных пунктов и газораспределительных систем;
- меняющаяся архитектура и устрой населенных пунктов;
- несовершенство применяемого оборудования и технических устройств;
- несанкционированный доступ к элементам сетей для широкого круга населения;

- несовершенство системы мониторинга и контроля параметров сети и др.;
- отсутствие единства развития газовых сетей;
- неадаптированные программы реконструкции систем теплоснабжения;
- недостаточная защита от коррозии трубопроводов и оборудования сетей.

Снижение надежности в сетях газораспределения приводит к повышению риска безопасного потребления газа в качестве топлива, но и к социально-экономическим последствиям, связанным с недопоставкой газа потребителям и с последствиями чрезвычайных ситуаций (ЧС), возникающим в случае инцидентов и аварий в сетях. Статистика аварий изображена на рисунке 2. Причины аварий изображены на рисунках 3-5 [2].

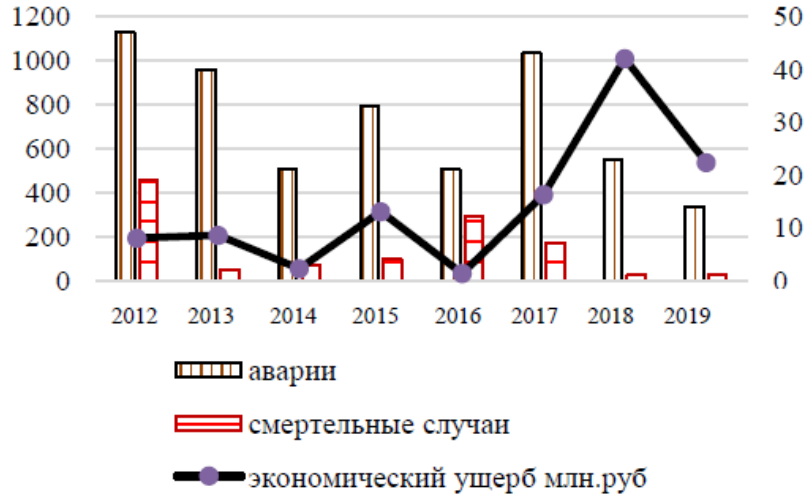


Рисунок 2 – Динамика показателей аварийности и травматизма на объектах газораспределения и газопотребления

Основные направления использования показателей аварийности и риска при эксплуатации распределительных газовых сетей [8]:

1) Использование интегрированных показателей аварийности и риска для сопоставления (ранжирования)

- деятельности предприятий;
- деятельности подразделений одного предприятия;
- технического состояния предприятия в целом и технологических объектов (фрагментов структуры) одного предприятия.

2) Планирование предупредительных ремонтов (ежегодное и среднесрочное), распределение средств на ремонты между предприятиями холдинга и подразделениями (или объектами) одного предприятия.

3) То же самое при реконструкции газораспределительной системы.

4) То же самое при планировании затрат на поддержание безопасности.

5) Использование показателей аварийности и риска как меры для обоснования эксплуатационных затрат.

6) Обоснование страховых сумм при технологическом и экологическом страховании.

7) Обоснование программ по повышению безопасности.

8) Выявление наиболее опасных мест системы и их учёт при разработке программ технического и экологического мониторинга распределительных систем.

При проектировании эти направления бывают следующие [8]:

1) Сопоставление вариантов проекта по интегрированному показателю риска (по фактору, который не отражает стоимость сооружения объекта).

2) Корректировка вариантов проекта в сторону уменьшения показателей риска (ведущая, как правило, к удорожанию строительства).

3) Обоснование (с целью уменьшения риска) нестандартных проектных решений.

4) Выбор структуры распределительных газовых сетей и направления трасс с учетом критериев риска.

5) Построение комплексных критериев выбора проектных решений, учитывающих показатели стоимости и безопасности.

6) Выбор средств и способов контроля за состоянием.

7) Выбор средств и способов информационного взаимодействия между подразделениями ГРО, а также средств и способов оповещения населения о потенциальной опасности.

Рисунок 3 – Причины отказов в системах газораспределения

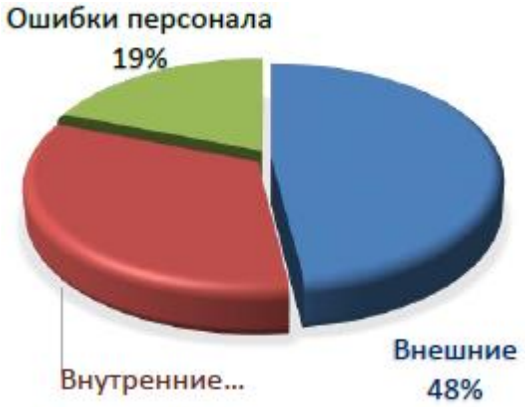


Рисунок 4 – Причины отказов в системах газораспределения

Рисунок 5 – Основные причины утечек природного газа из распределительных газопроводов

Сложившаяся ситуация на рынке газоснабжения обуславливает актуальность ряда научных проблем:

- отсутствует системный подход к принятию решений по развитию газораспределительных систем, что является одной из причин низкого темпа их развития;
- при принятии проектных решений, в ряде случаев, учитываются такие параметры, как металлоемкость или материальная характеристика сети, которые не в полной мере характеризуют её стоимость и поэтому не позволяют качественно осуществлять выбор оптимального варианта газораспределительной системы из множества возможных.
- газораспределительные сети проектируются в соответствии с нормативными документами, которые содержат исключительно рекомендации по обеспечению требуемого уровня их безопасности и не устанавливают методы оптимизации этих сетей для снижения их сметной стоимости и повышения экономичности их функционирования;
- ввиду отсутствия учета таких важных факторов, как появление новых материалов и оборудования, ценовой динамики, принимаемые инженерные решения порой не только не приводят к положительному эффекту, но и усугубляют ситуацию, что в свою очередь влечет повышение конечной стоимости газа для потребителя.

Таким образом, актуальной проблемой является разработка новых методов оптимизации газораспределительных систем, учитывающих всю совокупность рассмотренных выше факторов с целью дополнения существующих нормативных документов.

Список литературы

1. Энергетическая стратегии России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. [Сетевой ресурс]. - URL: http://docload.ru/SNiP/Datal/57/57547/index.htm (дата обращения 15.02.2023)

2. Лепеш, Г.В. Прогнозирование рисков отказов в газораспределительных сетях [Текст] / Г.В. Лепеш // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2019. - №4 (50). – С. 23-33.

3. Романова, Т.Н. Современное состояние вопроса газификации природным газов [Текст] / Т.Н. Романова // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – № 1 (10). – С. 80-89.

4. Клочко, А.К. Разработка концепции рационального проектирования газораспределительных сетей методом итерационного поиска: диссертация … канд. техн. наук: 05.23.03 / Клочко Алексей Константинович. – Москва, 2012. – 173 с.

5. Осипова, О.И. Проблемы и перспективы обеспечения защиты газораспределительных сетей [Текст] / О.И. Осипова //Территория Нефтегаз. – 2009. – №2. – С. 24-27.

6. Бобылева, Т.А. Исследование проблемных вопросов газификации России и способов их решения [Текст] / Т.А. Бобылева, А.С. Хрипунова // Вестник Университета. – 2016. – № 7. – С. 5-12.

7. Белинский, А.В. Экономико-статистический анализ газораспределительного комплекса России [Текст] / А.В. Белинский // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2017. – №4 (10). – С.384-402.

8. Сухарев, М.Г. Статистический анализ аварийности газораспределительных систем / М.Г. Сухарев, А.Г. Лапига, Э.В. Калинина // Территория Нефтегаз. – 2010. – №4. – С. 16-19.

УДК 697.942.4

Толкачев Сергей Андреевич,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ**;**
Шацков Артем Олегович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

ФРАКЦИОННЫЙ ПРОСКОК ПЫЛИ КАК ОПТИМАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЫЛЕГАЗОУЛОВИТЕЛЕЙ

На данный момент остро стоит необходимость улучшения качества воздуха в приземном слое атмосферы в городской застройке вокруг промышленных предприятий. Это связано с тем, что большая часть предприятий черной и цветной металлургии, химической промышленности, предприятий производства строительных материалов находятся в черте крупных городов. Кроме того, дополнительным источников загрязнений являются районные котельные. Вопросы загрязнения воздуха можно решить с помощью установки пылегазоуловителей. Поэтому остро стоит вопрос разработки оптимальной методики определения эффективности работы таких устройств.

Ключевые слова: пылегазоочистка, инерционные пылеуловители, фракционный проскок пыли, дисперсный состав

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых серьезных экологических проблем большинства стран мира. Влияние загрязненного воздуха на здоровье человека проявляется через сокращение средней продолжительности жизни, увеличение количества преждевременных смертей, рост заболеваемости и негативное влияние на работоспособность населения [1].

Все без исключения промышленные предприятия генерируют – помимо полезной продукции – значительные количества нежелательных выбросов, которые могут навредить как рабочему персоналу, так и окружающей среде. Одним из наиболее вредных загрязнителей является пыль - твердые механические частицы малой дисперсности.

Анализ состояния качества воздушной среды производственных помещений в районах размещения стекольных производств показывает, что санитарно-гигиенические условия труда и степень защиты атмосферы от загрязнений в большинстве случаев не отвечает нормативным требованиям [2]. Концентрации газов и пыли, как в воздухе рабочей зоны, так и на промплощадках предприятий значительно превышают предельно допустимые Одной из определяющих причин такого положения является несоответствие функционально-технологических характеристик применяемого газопылеулавливающего оборудования локализующей вентиляции особенностям выделения и составу вредных выбросов данных производств [2].

Рост производства предприятиями промышленной теплоэнергетики, котельными в процессе приготовления пылеугольного топлива, выброса отходящих газов предприятиями строительных материалов, металлургической, химической промышленности и т.д., делают защиту окружающей среды актуальной задачей. Эту задачу можно решить с помощью установки систем пылегазоочистки [2]. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на совершенствование систем пылеочистки с учетом затрат на их эксплуатацию Проблема выбора аппарата газоочистки в системах промышленной вентиляции решается на основе определения основных характеристик, которые позволили бы сравнивать их между

собой на объективной основе Такие методики разрабатывались многими научными коллективами, в частности, НИИОГАЗом.

Уровень обеспыливания газов с помощью пылеулавливающих устройств обычно оценивают, используя эффективность газоочистки η, определяемый по формуле [3]

$$\eta = \frac{M_{ул}}{M_{вх}} \cdot 100 = \frac{M_{вх} - M_{вых}}{M_{вх}} \cdot 100 = \frac{M_{ул}}{M_{ул} + M_{вых}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $M_{вх}$, $M_{ул}$, $M_{вых}$ – массы частиц, содержащихся в газах до их поступления в аппарат, уловленных в аппарате и в газах после выхода из аппарата.

Зная эффективность уловителя и производительность, можно рассчитать, какое количество пыли будет выловлено при заданной исходной концентрации в атмосфере. Следует учитывать, что пылеемкость фильтров ограничена, и по достижении некоторого предела пылепоглощение заметно снижается. Требуется замена или очистка. В этом отношении наиболее предсказуемые параметры у циклонно-рукавных модификаций. При своевременном удалении сухих отходов из бункера и стряхивании из рукавов комплекс способен работать практически в непрерывном режиме, без ухудшения характеристик со временем [4].

Циклон для пыли является одним из основных аппаратов для очистки воздуха и отходящих технологических газов от твердых загрязнений, которые образуются в результате деятельности различных производственных предприятий. Благодаря простоте конструкции, отсутствию подвижных узлов и механизмов, возможности увеличения производительности путем объединения в группы и батареи, циклоны сухой очистки широко применяются в технологических и подготовительных производственных процессах [4].

В зависимости от условий эксплуатации, физических и химических свойств загрязнений, концентрации запыленности и производительности аспирационной системы выбирается определенная конструкция, материал изготовления и размеры пылеулавливающей установки. Широкое использование циклон-аппараты получили в металлургической, химической, энергетической, деревообрабатывающей, горнодобывающей, машиностроительной промышленностях, на предприятиях по переработке и хранению зерна, изготовлению мебели, сыпучих строительных материалов, удобрений, продуктов питания, в сельскохозяйственной области [4].

Работа циклона для очистки воздуха основана на применении центробежной и инерционной сил. Запыленный воздух под действием вентилятора проходит по воздуховодам и попадает во входной патрубок устройства со скоростью до 20 м/с. Патрубок имеет спиральную форму, которая придает потоку вращательное движение вдоль стенок корпуса. В сужающейся части скорость запыленного воздуха увеличивается, частицы загрязнений по инерции продолжают опускаться в нижнюю часть циклона. Очищенный воздух резко меняет направление на 180° и попадает в выхлопную вертикальную трубу, через которую выходит наружу [4].

В зависимости от места расположения пылеочистного оборудования и схемы его включения в состав аспирационной системы входные патрубки могут придавать потоку левое или правое вращение. Пыль, под действием силы инерции, продолжает осыпаться в нижнюю часть и попадает в накопительный бункер, из которого регулярно удаляется. Для выгрузки существует шибер или затвор с механическим или электрическим приводом. Вся конструкция располагается на стальной раме с небольшой площадкой, которая обеспечивает устройству устойчивость и доступ обслуживающего персонала к устройству выгрузки [4].

Элементы циклонов для пылеулавливания изготавливают из углеродистой и низколегированной стали. При наличии в рабочей среде агрессивных химических веществ или абразивных частиц толщину корпуса увеличивают или изготавливают из легированной стали. Наиболее распространённые модели циклонов изображены на рисунке 1.

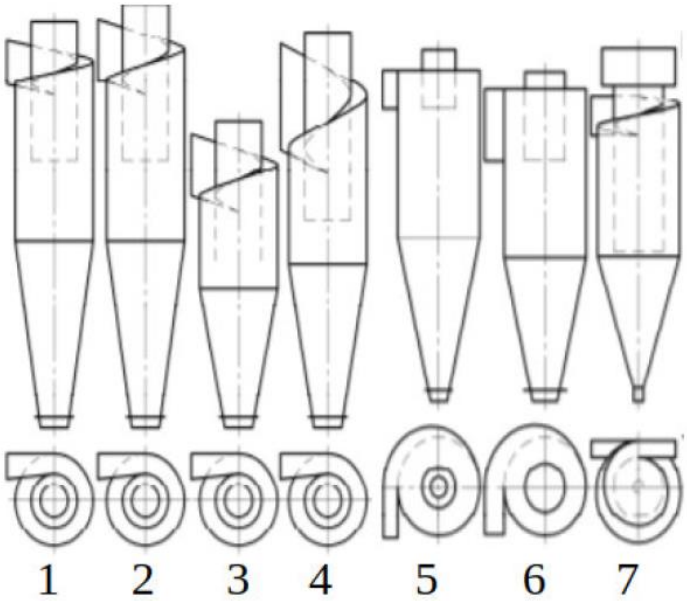


Рисунок 1 – Конструкции отечественных циклонов:
1 – ЦН-11; 2 – ЦН-15; 3 – ЦН-15 У; 4 – ЦН-24; 5 – СЦН-40; 6 – СЦН-50; 7 – ЛИОТ

Тем не менее, для некоторых отраслей промышленности различные авторы рекомендуют иные типы обеспыливающих аппаратов. Например, насыпные комбинированные фильтры с несвязанной структурой зернистого слоя для предприятий производства огнеупоров [5] или циклоннопенные, пенновихревые, вихреэжекционные для предприятий стекольных производств [6]. В этом случае использование параметра η для различных пылегазоуловителей может быть недостаточно.

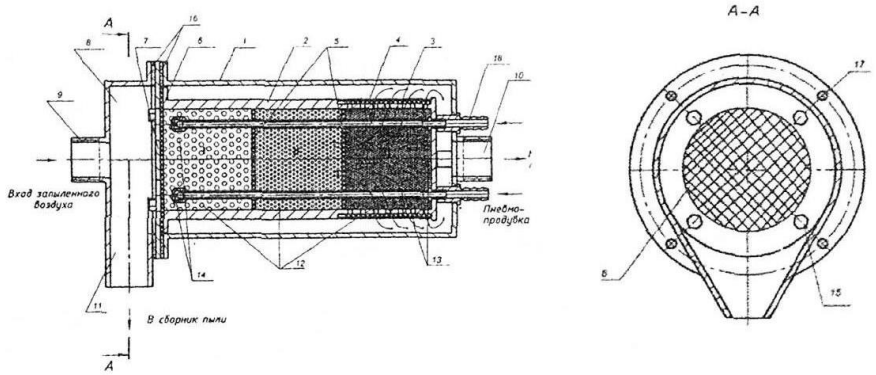


Рисунок 2 – Насыпной комбинированный экспериментальный фильтр:
1 - корпус фильтра; 2 - корпус сменной кассеты фильтра; 3 - металлическая сетка; 4 - фильтровальная ткань; 5 - ограничители толщины слоя; 6 - резиновая уплотнительная прокладка; 7 – распределительное устройство; 8 - камера запыленного воздуха; 9 - коллектор запыленного воздуха; 10 - коллектор очищенного воздуха; 11 - патрубок сбора уловленной пыли; 12 - зернистые (фильтровальные) слои различного гранулометрического состава; 13 - регенерирующие патрубки (дополнительные передвижные коммуникации для импульсной регенерации зернистых слоев); 14 - пружинные клапаны; 15, 17 - крепежные болты; 16 - металлическая решетка; 18 - штуцера для регенерирующего агента

Существуют объективные параметры, по которым оценивается эффективность. Отдельные элементы, как например, фильтры, легко исследовать и оценить в лаборатории. Эффективность очистки в пылеуловителях определяется концентрацией пылевых частиц

определенного размера на входе и выходе. В данном случае удобно выражать эффективность в процентах, сколько % частиц было поглощено фильтром.

В каждой отрасли разработаны свои типичные схемы, связанные с особенностями технологических процессов. Опытные инженеры знают, что для обслуживания, например, такого-то станка требуется уловитель определенной мощности, со специфическими характеристиками поглощающих раструбов, размещенных поблизости от зоны пылеобразования или на рабочем столе.

Если устройство сложное, и это крупногабаритные системы, оценивать эффективность пылеуловителей труднее, хотя тоже возможно проведение комплексных лабораторных тестов. Кроме сравнения входного и выходного содержания пылевидных частиц, имеет важное значение концентрация пыли в воздухе рабочей зоны. Собственно, на измерение этого показателя рассчитаны санитарно-гигиенические нормативы. Если снизить пылесодержание в атмосфере цеха до необходимых пределов, «автоматически» выполняются требования по ПДК.

Одной из лучших методик сравнения пылегазоуловителей является энергетический принцип сравнения инерционных пылеуловителей, разработанный проф. М И Шиляевым и его школой [7].

В основы принципа полажено условие равенства интегральных эффективностей отдельных аппаратов или каскадов, при котором определяется соотношение между потерями давления в них, или, что тоже самое, между удельными энергозатратами на очистку газов. В основе принципа был использован фракционный коэффициент проскока в виде следующей экспоненциальной зависимости

$$K_\delta = e^{-aStk^n}, \quad (2)$$

где a, n – постоянные, характеризующие пылеулавливающие способности аппарата,

Stk – число Стокса, определяющее инерционный механизм улавливания пыли в аппарате, которое определяется по формуле

$$Stk = \tau \frac{\upsilon}{d}, \quad (3)$$

где υ, d – характерные скорости и эквивалентные линейные размеры инерционного пылеулавливания пыли в аппарате,

τ – время динамической релаксации частиц, определяемое по формуле

$$\tau = \frac{\rho_m \delta^2}{18\mu}, \quad (4)$$

где ρ_m, δ – плотность и размер частиц,

μ – динамическая вязкость газа.

Теория сравнения пылегазоочистного оборудования с использованием энергетического принципа сравнения, разработанная М.И. Шиляевым, основана на сравнении каскада m последовательно соединенных аппаратов, фракционные проскоки которых равны $K_{\delta i}$, i=l, 2, …, m с некоторым эталонным, фракционный проскок которого равен $K_{\delta 0}$ [8].

Коэффициент проскока, представляющий собой отношение количества пыли, уносимой газами из пылеуловителя, к количеству пыли, поступающей в него за то же время, измеряемое в долях, может определяться по формуле [3]

$$K = 1 - \frac{\eta}{100}.$$

Фракционный коэффициент проскока K_δ определяется отношением концентраций частиц отдельной фракции δ после аппарата $C_{вых}$ к концентрации частиц той же фракции перед аппаратом $C_{вх}$ [33]

$$K_\delta = \frac{C_{вых(\sigma)}}{C_{вх(\sigma)}}. \quad (5)$$

Суммарный коэффициент проскока равен соотношению концентраций всех фракций после аппарата и на входе в него

$$K_{\delta_\Sigma} = \frac{C_{\text{вых}(\Sigma)}}{C_{\text{вх}(\Sigma)}}. \quad (6)$$

Если известна дифференциальная функция распределения массы частиц по размерам для конкретной выли g_δ, полный проскок для этой пыли определяется интегралом

$$K_{\delta_\Sigma} = \int_0^\infty K g_\delta d\delta. \quad (7)$$

Тогда полная эффективность рассчитывается следующим образом

$$\eta_\Sigma = 1 - K_{\delta_\Sigma} = 1 - \int_0^\infty K_\delta g_\delta d\delta. \quad (8)$$

Если рассматривать процесс пылеулавливания по отношению к конкретной пылевой частичке–стохастический процесс, т.к. частичка с некоторой вероятностью Р может оказаться в бункере или на стенке пылеуловителя, но и с вероятностью 1-Р быть выброшенной в атмосферу. Однако, для сухих инерционных пылеуловителей функцию проскока принято считать детерминированной функцией, потому что даже в системах аспирации на очистку в аппарат поступает большое количество частиц каждого размера, и, согласно "закону больших чисел", средняя доля пойманных частиц от их числа частиц данного размера (т.е. есть функции проскока очистки) будет стремиться к некоторой вероятности Р. Следовательно, для каждого размера всех рассматриваемых нами разновидностей инженерно-экологических систем (пылеуборка, пылеочистка, пневмотранспорт и пр.) в первом приближении функцию фракционного проскока можно считать детерминированной. Стоить отметить, что, даже для общей эффективности пылеочистки утверждение о детерминированности часто неприемлемо, вследствие возможных скачков в технологии, в качестве сырья и пр., и согласно [3], можем записать

$$K_0 = 1 - \frac{1}{100}\int_0^\infty \eta_{\varphi_\delta}\, dD_\delta, \quad (9)$$

где D_δ – интегральная функция распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам;
η_φ – фракционная эффективность;
δ – диаметр эквивалентной частицы.

Поскольку фракционный состав пыли, поступающий на очистку, может существенно изменяться, то значительно может изменяться и функция D_δ и, следовательно, общая эффективность улавливания.

Таким образом, можно сделать вывод, что функция проскока является лучшим показателем эффективности работы пылеуловителей, в том числе инерционного типа. Однако, на сегодняшний день не разработана достаточно простая и точная методика определения коэффициента проскока, т.к. общая эффективность пылеулавливания реальных функционирующих систем пылеочистки является случайной величиной, зависящей от случайных факторов, в основном дисперсного состава материала. Поэтому для широкого использования функции проскока, как меры эффективности работы систем пылеочистки, необходима разработка метода нахождения фракционной функции проскока аппаратов в реальных условиях работы.

Список литературы

1. Русанов, А. В. Очистка экологически опасных вентиляционных выбросов шахтных комплексов путем создания комбинированных систем фильтрации / А. В. Русанов, В. Н. Дыхановский, Э. А. Дармофал. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 19 (78). — С. 240-243.

2. Баришполец, В.А. Анализ глобальных экологических проблем [Текст] / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2011. – Т.3, №1. – С. 79-95.

3. Гордон, Г.М. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии: Учебник для вузов [Текст] / Г.М. Гордон, Л.М. Пейсахов. – М. : Металлургия, 1977. – 456 с.

4. Биргер, М.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию [Текст] / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

5. Лукин, П.А. Определяющие факторы сепарации дисперсной фазы в неоднородном закрученном потоке газа [Текст] / С.В. Беломутенко, С.И. Голубева, П.А. Лукин // Вестник ВолгГАСУ, Сер. Строительство и архитектура – Волгоград, 2007. – Вып. 7 (26). – С. 173-177.

6. Чугунова, И.А. Многоцелевые зернистые фильтры-пылеуловители для очистки технологических газов и аспирационных выбросов / Ю.В. Красовицкий, И.А. Чугунова, Н.Н. Лобачева, М.Н. Федорова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2010. – Т. 6, №1. – С. 163-167.

7. Шиляев, М.И. Энергетический принцип сравнения систем пылеулавливания [Текст] / М.И. Шиляев, А.М. Шиляев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2002. – Т. 305, №2.

8. Шиляев, М.И. Методы расчета и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования: учебное пособие [Текст] / М.И. Шиляев, А.Р. Дорохов. – Томск : ТГАСУ, 1999. – 209 с.

9. Жукова, Н.С. О фракционном проскопе пыли для выбросов в атмосферу после действующих циклонов [Текст] / Н.С. Жукова, М. Остаали, Д.С. Хегай // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2016. – №1. – С. 68-76.

УДК 697.1; 681.52

Долгов Николай Викторович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Прокопенков Вадим Вячеславович,
магистрант группы ЗТГВм-52б каф. ТТГВ;
Харанжевич Андрей Николаевич,
магистрант группы ЗТГВм-52б каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ С НЕПОСТОЯННЫМ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ

В связи с реализацией в Российской Федерации федерального закона №261 от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» и роста цен на энергоносители в настоящее время уделяют большое внимание рациональному использованию тепловой энергии при эксплуатации зданий. В СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» приведены современные нормативные требования по теплозащите, включающие выполнение санитарно-гигиенических и комфортных условий, а также условие энергосбережения. В указанном выше нормативном документе приведен перечень зданий и сооружений, на которые условие энергосбережения не распространяется. К ним относятся жилые и общественные здания с периодическим отоплением – загородные коттеджи, бытовые здания, вахтовки и т.д. Тепловой режим таких зданий является нестационарным в связи с периодичностью работы системы отопления и изменением температуры внутреннего воздуха в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование, отопление, тепловой режим, влагосодержание, ограждающие конструкции.

Использование САУ является целесообразным в переходный и зимний периоды года. При отсутствии человека в помещениях поддерживается дежурное отопление, которое препятствует вымораживанию системы и выпадению конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций. При необходимости система может быть переведена с дежурного режима на стационарный режим. Перевод режима может быть осуществлен как вручную, так и дистанционно с помощью GSM вязи.

Заданная температура внутри помещений создается и поддерживается с помощью водяных радиаторов системы отопления. Для системы отопления используется закрытая схема.

В газовом котле используется встроенная газовая горелка с функцией регулирования мощности. Регулирование происходит путем изменения расхода газа (GГ) в газовой горелке при помощи широтно-импульсного модулятора [1].

На рисунке 1 представлена основная схема отопления коттеджа.

Главным возмущающим воздействием является - температура внутреннего воздуха (ТВ). Сигнал с внутренних датчиков посылается через преобразователь в центральный пункт САУ. Данные поступают на блок сравнения (БС), где полученный сигнал сравнивается с заранее установленными параметрами. В случае отклонения параметров внутреннего воздуха от заданных происходит регулирование с помощью электромагнитного клапана (ЭМК), установленного на газовой горелке.

Исходя из параметров отклонения происходит включение или отключение газовой горелки.

Из газового котла (ГК) в радиаторы поступает водяной теплоноситель с температурой ТП. Тепло от радиаторов передается в помещение, где показатели температуры фиксируются внутренними датчиками [2] .

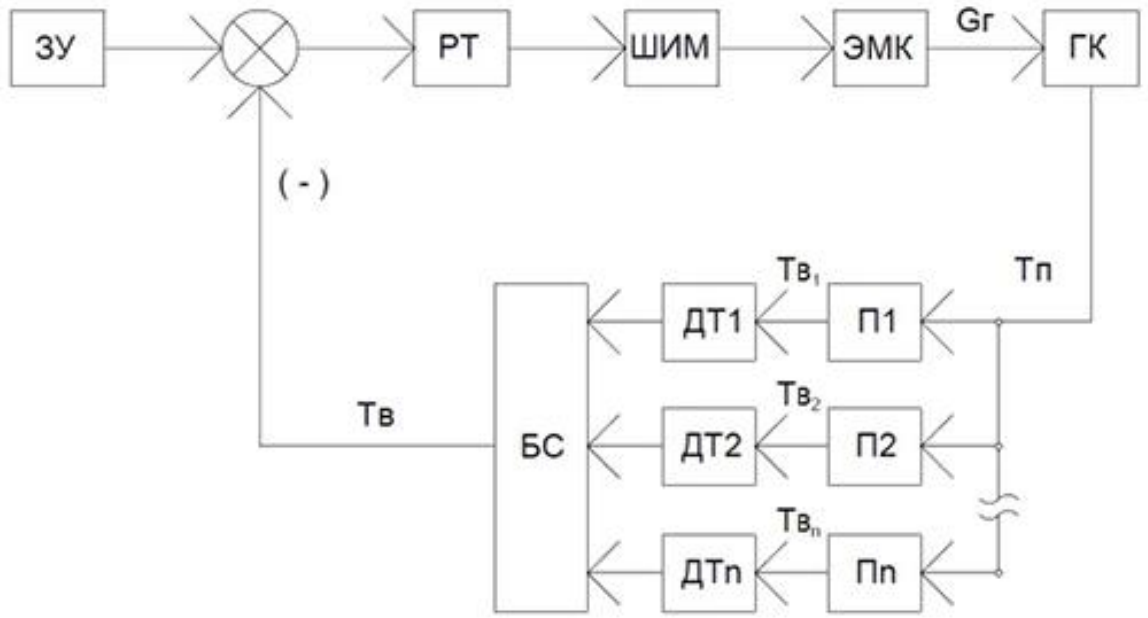


Рисунок 1 - Основная схема отопления коттеджа

Регулирование происходит с помощью изменения расхода газа (Gr) на газовой горелке. Периодичность включения и выключения газовой горелки позволяет уменьшить расход газа. Нагрев теплоносителя происходит в газовом котле, который далее с температурой Тп поступает в радиаторы отопления, установленные в помещениях. Показания датчиков внутреннего воздуха пересылаются через преобразователь на блок сравнения (БС), где полученные данные сравниваются с исходными заданными параметрами.

Исходным параметром является фиксированная температура внутреннего воздуха (Тв) с допустимым диапазон отклонения от него. В блоке сравнения сравниваются показания со всех датчиков внутреннего воздуха и выбирается наименьшее значение, которое далее пересылается на задающее устройство, где происходит его сравнение с исходными параметрами. После сравнения задающее устройство посылает сигнал на широтно-импульсный модулятор, с помощью которого происходит регулирование электромагнитного клапана на газовой горелке.

Для управления и настройки дома из удаленных мест предлагается использовать GSM систему, которая связывает с помощью интернета и сотовой связи владельца и устройство управления.

Исходным параметром в алгоритме управления является температура внутреннего воздуха. Система отопления работает в двух режимах: дежурном и номинальном рисунке 2. При работе в дежурном режиме температура внутреннего воздуха поддерживается в пределах Тв ≥ 120С. При понижении температуры внутри помещения включается система нагрева и происходит нагрев помещения. Датчик фиксирует изменение температуры и при достижении условия Тв ≥ 120С происходит отключение системы отопления [3] .

При необходимости система может быть переведена с дежурного режима на номинальный. Основной критерий номинального режима заключается в поддержании комфортной температуры внутреннего воздуха в диапазоне 180С < Тв ≤ 260С. При понижении температуры ниже 180С происходит включение системы нагрева и происходит натоп помещения до 260С. Далее система нагрева отключается и происходит постепенное остывание помещения до минимального порога. При его достижении происходит включение системы нагрева.

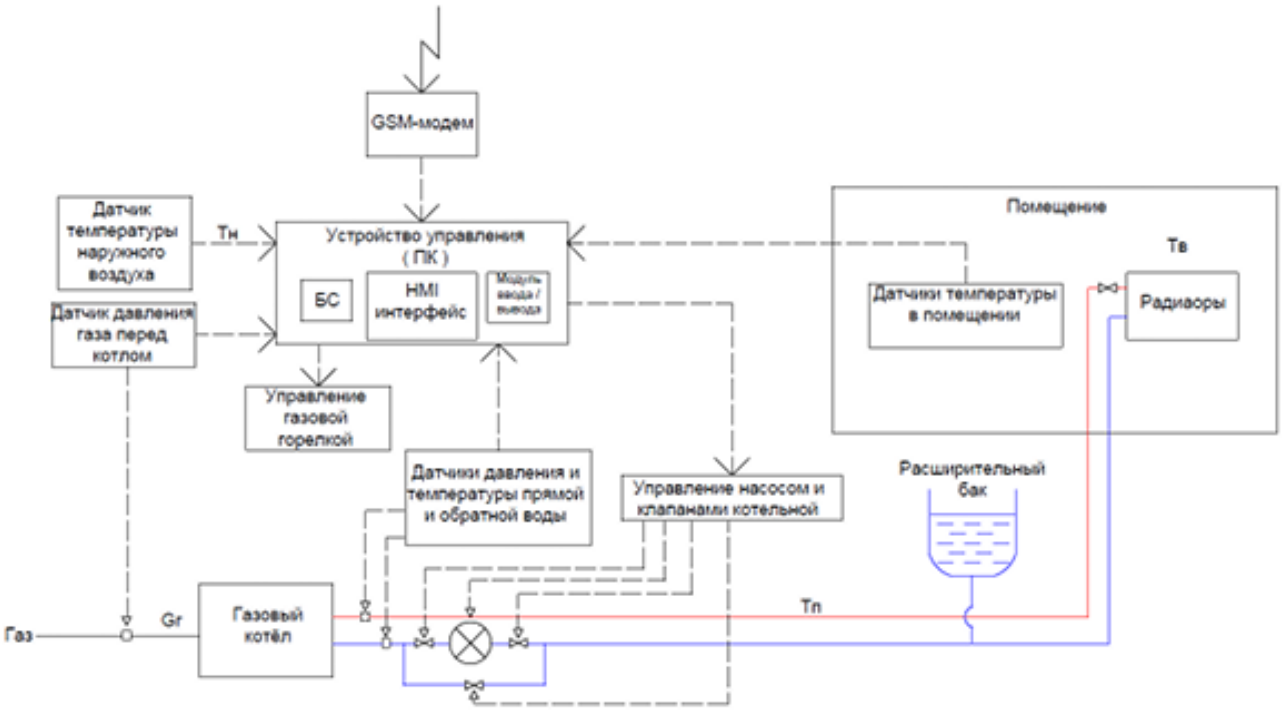


Рисунок 2 - Схема автоматизации закрытой системы отопления коттеджа

При отсутствии необходимости в дальнейшем поддержании номинальной температуры в помещении, система может быть переведена на дежурный режим рисунок 3 [4].

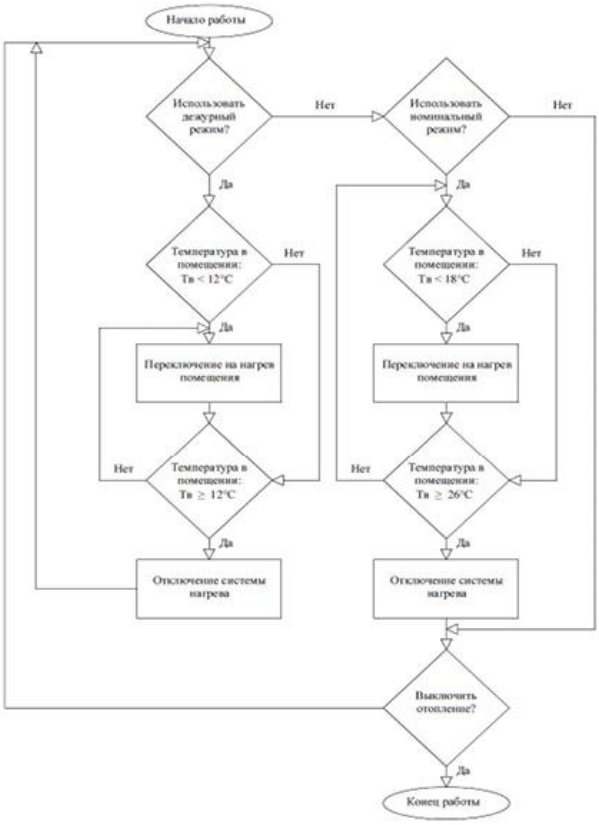


Рисунок 3 - Алгоритм работы системы отопления коттеджа

Использование прерывистого отопления направлено на снижение энергозатрат при эксплуатации зданий. Прерывистое отопление целесообразно к применению в малоэтажной застройке, в частности, в коттеджных домах. Экономия топлива достигается с помощью установки современного оборудования, которое по заданному алгоритму осуществляет регулирование системы отопления.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий

2. Чулков, А.А. Оценка времени остывания теплоносителя в изолированных трубопроводах систем теплоснабжения при аварийных ситуациях [Текст] / А.А. Чулков // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / Самара, 2019. – С. 479-481. 3. Утилизация теплоты удаляемого воздуха [Электронный ресурс]. URL:http://www.ventclub.ru/

3. Чулков, А.А. Тепловизионный контроль качества тепловой защиты тепловой сети нового пассажирского терминала международного аэропорта Курумоч г. Самары [Текст] / А.А. Чулков // Градостроительство и архитектура. – 2015. – № 2 (19). – С. 107-112.

4. Щукина, Т.В. Регулируемой тепловой режим пассивной утилизации солнечного излучения для снижения нагрузок на системы отопления [Текст] / Т.В. Щукина, Р.А. Шепс, М.Н. Жерлыкина // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2016. – № 11. – С. 55-59.

УДК 697.347; 681.52

Долгов Николай Викторович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Соколов Сергей Владимирович,
магистрант гр. ЗТГВм-53а каф. ТТГВ;
Кекиш Сергей Евгеньевич,
магистрант гр. ЗТГВм-53б каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

РЕГУЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Эксплуатационное регулирование системы отопления проводят с целью обеспечения теплоподачи в отапливаемые помещения соответствующей текущей теплопотребности. В зависимости от места проведения регулирования в системе теплоснабжения различают центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование. Через тепловой пункт регулируется работоспособность теплового оборудования, контролируется режим потребления тепла, распределяется теплоноситель по типам потребления (системы отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования), настраиваются и изменяются параметры теплоносителя

Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование, отопление, тепловой режим, влагосодержание, ограждающие конструкции.

Для решения задач интеграции информационных ресурсов тепловых сетей, в отличие от известных подходов [74], где данные из различных баз данных конвертируются в одну базу данных, предлагается параллельная работа с различными базами данных.

Здесь архитектура интегрированной информационной системы представляет собой модель, которая объединяет элементы «клиент-серверной» архитектуры и использование вычислительного кластера с параллельной обработкой распределенной информации (рисунок 1) [1,2].

Рассматриваемая архитектура информационной системы имеет 4 уровня.

Первый уровень – «клиент-серверная» основа информационной системы, осуществляющая управление параллельной работой кластера вычислительных машин и взаимодействие с клиентскими (пользовательскими) станциями [3].

Второй уровень – это уровень работы с данными. Ключевыми элементами данного уровня являются серверы баз данных, осуществляющие взаимодействие с базами данных, имеющими различные форматы данных или различные платформы, основанные на различных механизмах хранения данных, таких как реляционные базы данных и объектно-ориентированные базы данных [3].

Третий уровень – это уровень решаемых системой информационных задач, который устанавливает алгоритм решения и выделяет используемые в информационной системе записи из имеющихся на втором уровне БД [3].

Четвертый уровень отвечает за реализацию параллельной обработки данных. Он основан на компьютерном кластере, позволяющем осуществлять параллельные вычисления с координацией сервером узла кластера. Сервер узла кластера выполняет диспетчерские функции по распределению задач между рабочими станциями кластера в соответствии с указаниями сервера- приложений ИС [3].

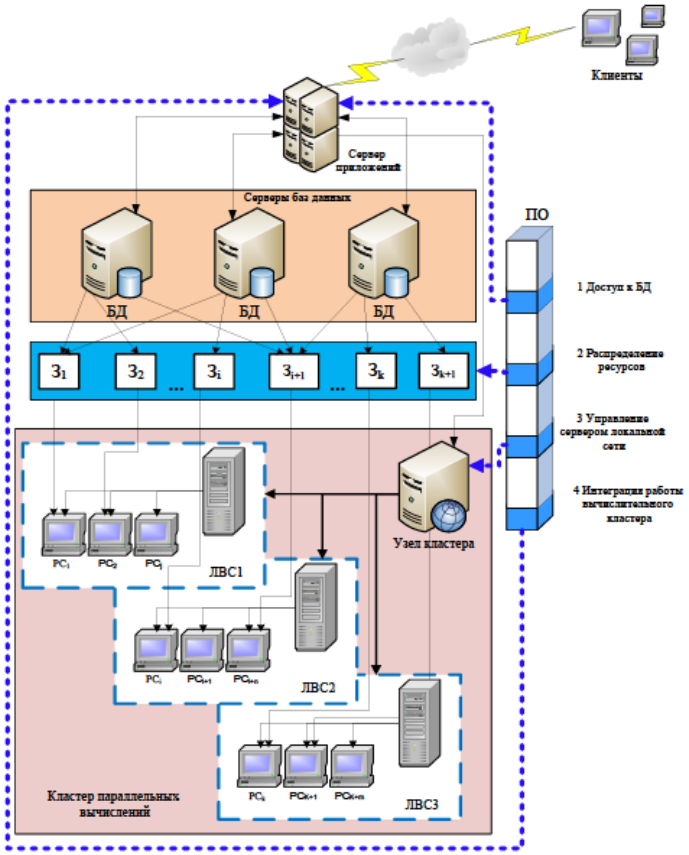


Рисунок 1 – Архитектура интегрированной ИС

Мировой опыт создания вычислительных кластеров представлен немалым количеством примеров от скромных 20-30 узловых кластеров в учебных или научных лабораториях университетов, до гигантских вычислительных систем состоящих из 1000 – 2000 рабочих станций, созданных в рамках специальных проектов [3].

Для построения вычислительных кластеров обычно используются общедоступные компьютеры на базе процессоров Intel или AMD, стандартные сетевые технологии Ethernet или Fast Ethernet, распространенные операционные системы Windows и коммуникационная библиотека MPI [2], реализующая связь между ветвями параллельного вычислительного процесса. Таким образом, сегодня вычислительные кластеры стали общедоступной и сравнительно дешевой альтернативой традиционных суперкомпьютерам. На многих классах задач и при достаточно большом числе узлов кластерные системы достигают производительности сравнимой с суперкомпьютерной [4]. Схематично взаимодействие программной реализации информационной системы с аппаратной составляющей показана также на рисунке 3.4. Модуль информационной системы для взаимодействия с базами данных представлен на рисунке 2.

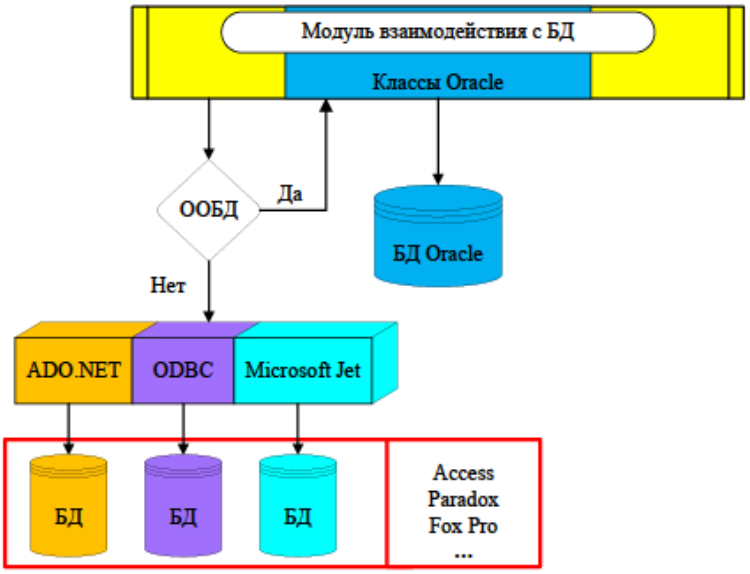


Рисунок 2 - Схема модуля взаимодействия с базами данных

Модуль связывается с программной платформой NET Framework. NET Framework дает нам множество способов для работы с базами данных.

Платформа NET Framework имеет собственную технологию доступа к данным - ADO.NET (ActiveX Data Object для .NET). ADO.NET включает в себя управляемые классы, позволяющие приложениям NET подключаться к базам данных, а также выполнять работу с данными и управлять автономными данными. ADO.NET технология позволяет работать с данными в Microsoft SQL Server, Microsoft Access, Microsoft Excel, Microsoft Outlook, Microsoft Exchange, Oracle, OLE DB, ODBC, XML в автономном режиме с помощью объектов DataSet [5]. Объекты DataSet позволяют нам извлекать копии связанных между собой локальных таблиц данных из MS Access. После этого модуль работает с содержимым DataSet, при этом не требуется подключение к источнику данных, а также позволяет отправлять обратно измененные данные для обработки с помощью соответствующего адаптера данных. Схема взаимодействия с базой данных через ADO.NET представлена на рисунке 3.

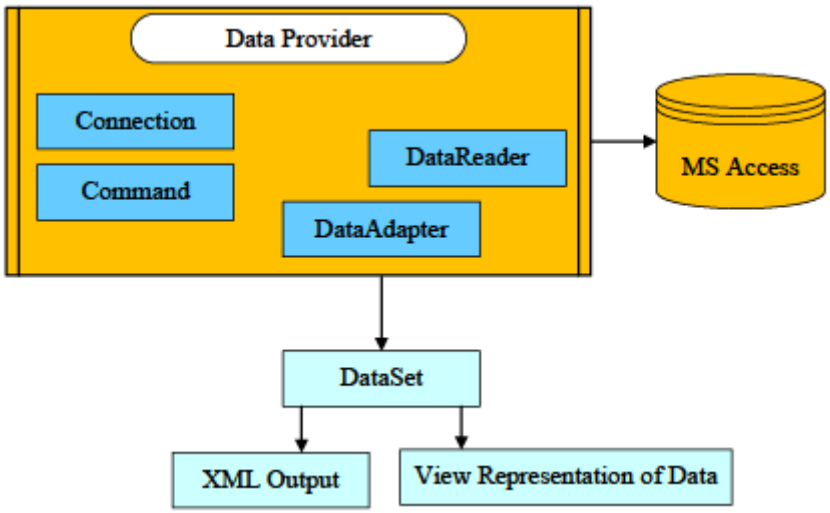


Рисунок 3 - Схема взаимодействия с базой данных через ADO.NET

Работа с базой данных через ODBC API осуществляется через установку соединения с базой данных. Схема доступа модуля к базе данных Paradox через интерфейс ODBC приведена на рисунке 4. В системе Microsoft Driver Manager (odbc32.dll) взаимодействует с odbcint.ini и odbc.ini. Для работы Microsoft Driver Manager, который позволяет подключать драйверы, используется ODBC Administrator (odbcad32.exe, odbccp32.dll и odbccp32.cpl). Запуская ODBC Administrator мы можно устанавливать имя базы, подключать драйверы, редактировать данные и т.д. Для работы с базой данных в системе есть соответствующий драйвер. Затем выполняется запрос и, после получения данных, соединение закрывается.

На заключительном этапе работы программа, используя коммуникационную библиотеку MPI, передает управление в соответствии с распределенными задачами рабочим станциям кластера. Рабочие станции самостоятельно осуществляют обработку данных из соответствующего хранилища и производят вычисления, необходимые для решения соответствующей данной рабочей станции задачи. При этом основное приложение осуществляет с заданной периодичностью опрос всех рабочих теплопунктов, участвующих в решении поставленной задачи. Опрос производится циклически путем перебора всех рабочих теплопунктов, и в случае решения всех задач происходит запуск последнего модуля, интегрирующего полученные результаты и обеспечивающего документации по проектам строительства, ремонта или реконструкции тепловых сетей [3].

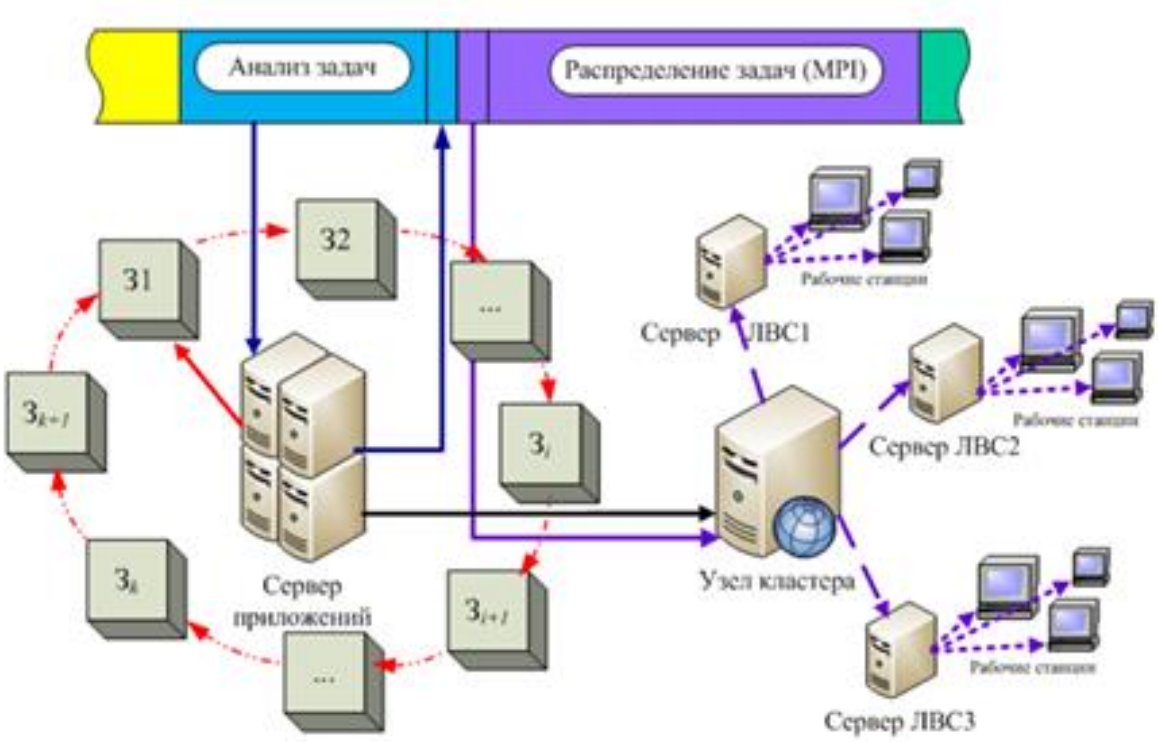


Рисунок 4 - Схема распределения ресурсов информационной системы

Представлены технические решения по модернизации работы теплопунктов на основе современных систем автоматизации. Разработана и описана архитектура, представляющая собой гибридную модель, интегрированной информационной системы. Она объединяет элементы «клиент-серверной» архитектуры и использование вычислительного кластера с параллельной обработкой распределенной информации.

Список литературы

1. Сагынганова И.К., Бакланов А.Е. Методика конвейерной обработки данных на примере городских тепловых сетей // Матер. III междунар. науч.- техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана». – Усть-Каменогорск: ВКГТУ им. Д.Серикбаева, 2017. – С. 293-298.

2. Györök G., Baklanov A., Baklanova O., Grigoryeva S., Kumargazhanova S., Sagynganova I., Vais Y. The Development of Hybrid IP Architecture for Solving the Problems of Heating Networks (using pipeline-parallel data processing technology). // Acta Polytechnica Hungarica, Hungry, 2020. – № 17 (1). – P. 123-140.

3. Сагынганова И.К. Разработка гибридной архитектуры информационных систем для решения задач тепловых сетей // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2018. – № 4 (70). – С. 153-155.

4. Воеводин В.В., Воеводин, В.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.

5. Informational portal. en.wikipedia.org. 25.04.2019.

УДК 628.3 (08)

Емельянов Дмитрий Алексеевич,
магистрант гр. ЗВВм-52а
каф. ВВ и ОВР,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА ПУТЕМ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД С ВЫСОКИМ СОЛЕСОДЕРЖАНИЕМ

В данной статье рассмотрена возможность изменения схем водоподготовки и водоотведения предприятия черной металлургии с целью предотвращения сброса сточных вод с высоким солесодержанием в городские водоотводящие сети и водоемы.

Ключевые слова: водоотведение, водоподготовка, умягчение, обессоливание, продувочные воды, оборотные циклы, испарение.

На металлургических заводах, как правило, вода расходуется на производство энергоресурсов, охлаждение металлургических агрегатов и готовой продукции. Ряд цехов, потребляющих воду, предъявляет повышенные требования к жесткости воды. В связи с этим водные хозяйства предприятий включают в себя станции водоподготовки. Потребителями умягченной воды на предприятиях черной металлургии являются теплосиловые цеха и станции по выработке пара для производственных нужд и подпитки тепловой сети, а также системы испарительного охлаждения металлургических печей и кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок.

В качестве основного метода водоподготовки применяется схема умягчения, включающая двухступенчатое натрий-катионирование, с предварительной механической очисткой. Недостатками такой схемы является остаточное солесодержание умягченной воды, зависящее непосредственно от качества исходной воды, поступающей на станцию умягчения, а также образование сточных вод, загрязненных ионами кальция и магния, при регенерации ионно-обменных фильтров.

В условиях сложной обстановки с водными ресурсами в Донбассе, предприятия вынуждены использовать в качестве исходной воды воду из ближайших поверхностных и подземных источников, взамен традиционной воды из канала «Северский Донец-Донбасс». Такие воды отличаются повышенной минерализацией в пределах 1200-2200 мг/л.

Действующие станции водоподготовки удовлетворяют требованиям большинства потребителей в отношении жесткости и щелочности воды, однако в отношении солесодержания не могут удовлетворить требования таких потребителей, как паровые котлы теплосиловых цехов. [9] Поэтому при высокой минерализации воды теплосиловые цеха вынуждены увеличить размеры продувки свыше 5% паропроизводительности, работая с нарушением правил технической эксплуатации. Это обусловлено возникающей проблемой, связаной с содержанием солей в парах в количестве 0,26 - 0,54 мг/л при норме 0,25 мг/л [1]. Ненормативное наличие солей приводит к их отложению в трубках пароперегревателей, что влечет за собой перегрев и прогар поверхностей нагрева. Кроме того, занос солей в паровые турбины приводит к их повреждению. В таком режиме работы образуются продувочные сточные воды, которые в условиях подачи умягченной воды с солесодержанием 960-1360 мг/л

имеют солесодержание 6500-18000 мг/л. Сброс сточных вод с таким солесодержанием в водоемы запрещен.

С целью предотвращения преждевременного износа основного энергетического оборудования и исключения сброса засоленных сточных вод в водные объекты, предлагается внедрять на предприятиях обратноосмотические установки по обессоливанию воды с последующим использованием образующихся сточных вод на нужды системы водоснабжения предприятия.

Применение для обессоливания обратноосмотической установки позволяет получить воду с солесодержанием 120-220 мг/л, если подавать на установку предварительно механически очищенную воду. При этом можно уменьшить минерализацию продувочных вод до 4000 мг/л и снизить количество этих вод до нормативных значений, равных 0,5-1% от производительности котлов [1]. Таким образом, проблема для основного энергетического оборудования, становится решенной. Однако, в результате работы обессоливающей установки образуется побочный продукт – концентрат, в количестве до 40% от расхода исходной воды и с минерализацией 1080-1980 мг/л. Сброс концентрата в водные объекты так же запрещен, а его утилизация, как правило, производится путём захоронения либо испарения.

В качестве решения проблемы утилизации концентрата и продувочных вод предлагается повторное использование смеси этих сточных вод в системах водоснабжения металлургического завода, не предъявляющих высоких требований к солесодержанию оборотной воды. Использование таких вод на восполнение потерь взамен свежей воды возможно в условиях систем водоснабжения разливочных машин чугуна, грануляционной установки доменных шлаков, газоочисток доменных печей. Рассмотрение вариантов повторного использования ведется на примере завода, имеющего в составе одну доменную печь полезным объемом 1033 м^3. Технологическая схема повторного использования приведена на рисунке 1.

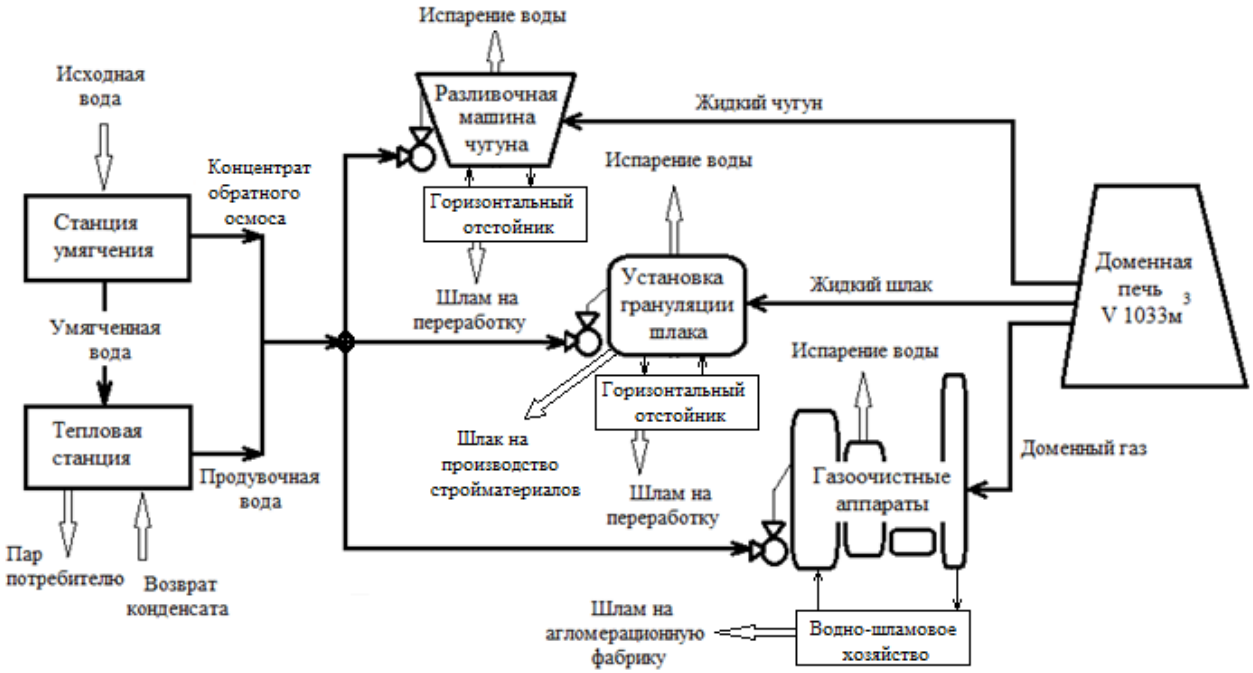


Рисунок 1 – Технологическая схема повторного использования воды в металлургическом комплексе

Использование засоленных сточных вод при водоснабжении разливочных машин допускается, так как температура, жесткость и минерализация воды не нормируются. Основным требованием к воде, подаваемой на разливочные машины, является содержание

взвешенных веществ не более 500 мг/л с размерами частиц до 1 мм [2]. Водоснабжение осуществляется по оборотной схеме без сброса сточных вод, а в схему, как правило, включен горизонтальный отстойник. Потери в цикле в основном происходят при непосредственном охлаждении водой продукции на лентах и душирующих установках – чушкового чугуна в интервале температур 1350 – 50ºС. При теплосодержании чугуна в указанном диапазоне в 235000 ккал/т и скрытой теплоте парообразования воды в 508400 ккал/м^3 испарение в процессе охлаждения чугуна составит 0,4 м^3/т чугуна, а общие потери – 0,438 м^3/т чугуна [3,4].

Таким образом, при стабильно работающей одной доменной печи полезным объемом 1033 м^3 с производством 1700 тонн в сутки чугуна, представляется возможным утилизировать до 744,6 м^3/сут смеси концентрата обратноосмотической установки и продувочной воды котлов. Соли при этом на качество готовой продукции не влияют и удаляются из горизонтальных отстойников вместе с известковым шламом разливочных машин на дальнейшую переработку.

Восполнение потерь воды при грануляции доменных шлаков также допускается засоленными сточными водами, поскольку температура, жесткость и солесодержание воды не нормируются. Водоснабжение грануляционной установки производится по оборотной схеме. Единственным требованием является содержание взвешенных веществ в воде до 200 мг/л, а также обязательное наличие в оборотном цикле горизонтального отстойника с механическим удалением шлама, с целью недопущения сброса сточных вод [2, 5]. Основные потери в цикле происходят при испарении в процессе контакта воды с гранулируемым шлаком в диапазоне температур 1300 – 90ºС. При теплосодержании шлака в указанном диапазоне температур в 380000 ккал/т испарение составит 0,7 м^3/т шлака [3,4].

Поскольку выход шлака при стабильно работающей доменной печи составляет порядка 700 тонн в сутки, представляется возможным утилизация до 490 м^3/сут сточных вод. Соли в таком случае удаляются частично со шлаком, частично со шламом из горизонтальных отстойников. Вынос солей с граншлаком сужает сферу его возможного применения, однако, сохраняется возможность применить его для производства шлакобетонов и шлакоблоков.

При водоснабжении аппаратов очистки доменного газа величина общего солесодержания и его компонентов не нормируется, в том случае, если водоснабжение осуществляется по оборотной полностью замкнутой схеме. В среднем минерализация в таких оборотных циклах колеблется в пределах 6400-18000 мг/л в зависимости от источника подпиточной воды [5]. Основными требованиями к качеству воды, подаваемой на газоочистки, является содержание взвешенных веществ до 150 мг/л с размерами частиц до 0,5 мм и температура 35-45ºС [2]. Наибольшие потери в цикле на испарение при непосредственном орошении доменного газа в газоочистных аппаратах, а также потери на испарение и капельный унос в охладительном сооружении.

В условиях стабильно работающей доменной печи и при удельном выходе доменного газа 2000 м^3 на тонну чугуна, выход доменного газа составит 3,4 млн.м^3/сут [6]. Таким образом, испарение в газоочистных аппаратах при влагосодержании доменного газа перед газоочистными аппаратами 30 г/м^3, составит 238 м^3/сут. Величина потерь в охладителе рассматривается на примере башенной градирни без водоуловителя при расходе оборотной воды 2000 м^3/ч, среднем перепаде температуры 4ºС и коэффициенте испарения 0,00125. Капельный унос принимается 0,5% расхода оборотной воды [7]. Потери на испарение и капельный унос составят 480 м^3/сут. Следовательно, суммарно можно подпитать цикл засоленными сточными водами на 718 м^3/сут. Соли в данном случае будут уноситься с доменным шламом, который после процедуры обезвоживания направляется на агломерационные фабрики, добавляется к шихте и в конечном итоге используется в доменном производстве [8].

Комбинирование перечисленных методов повторного использования позволяет потребить на собственные нужды предприятия до 1952,6 м^3/сут засоленных сточных вод, что в 1,7 раз больше, чем возможный сброс концентрата обессоливающей установки и продувок тепловой станции с выработкой пара 2400 т/сут. Однако, в связи с тем, что металлургические предприятия зачастую имеют общую инфраструктуру с городами и заводские тепловые станции работают также на отопление города, в случае непредвиденной вынужденной остановки металлургического комплекса в зимний период, проблема утилизации засоленных сточных вод остается не решенной.

Выводы

1. Высокое солесодержание в воде источников водоснабжения не позволяет производить надежное умягчение воды методом натрий-катионирования.
2. С целью предотвращения преждевременного износа энергетического оборудования рекомендуется применение обратноосмотической установки по обессоливанию воды.
3. Для утилизации образующегося при обессоливании воды концентрата, а также продувочных вод предложено повторное использование в системах водоснабжения цехов завода, не предъявляющих требований к солесодержанию.

Список литературы

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. ГКД 34.20.507-2003 (с изм. №609 от 19.12.2005). Объединение энергетических предприятий «Отраслевой резервно-инвестиционный фонд развития энергетики», Киев, 2003. – 355с.

2. ВНТП 1-35-80. Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Том 12 «Водное хозяйство». МЧМ СССР, 1981. – 58с.

3. Казанцев Е.И., Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования, 2-е издание, М.: Металлургия, 1975. – 368с.

4. Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара, М.: Издательство Стандартов, 1969. – 408с.

5. ВНТП 1-37-80. Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Том 14 «Очистные сооружения и защита водоемов». МЧМ СССР, 1981. – 136с.

6. ВНТП 1-33-80. Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Том 9 «Газовое хозяйство». МЧМ СССР, 1981. – 186с.

7. СНиП 2.04.02-84. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Госстрой СССР, М.: Стройиздат, 1985. – 136с.

8. Шабалин А.Ф., Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии, М.: Металлургия, 1968. – 508с.

9. ПТО «Укрэнергочермет». Правила устройства и технической эксплуатации водоподготовительных установок и способов организации и ведения водно-химического режима энергообъектов, Харьков, 1999. – 164с.

УДК 621.577

Полковников Алексей Андреевич,
ассистент каф. ТТГВ**;**
Долгов Николай Викторович
кандидат технических наук,
доцент каф ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Возрастающие с каждым годом производство и потребление тепловой энергии требуют все больших и больших объемов углеводородного топлива. Одним из решений данной проблемы является комбинированное использование традиционных и альтернативных источников для получения тепловой энергии. В данной статье рассмотрено применение тепловых насосов для систем горячего водоснабжения, а также комбинированное применение солнечных коллекторов и утилизации тепла вентвыбросов с геотермальным тепловым насосом.

Ключевые слова: тепловой насос, солнечный коллектор, утилизация теплоты вентиляционных выбросов.

Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Возрастающие с каждым годом производство и потребление тепловой энергии требуют все больших и больших объемов углеводородного топлива (рис. 1), запасы которого не безграничны [1].

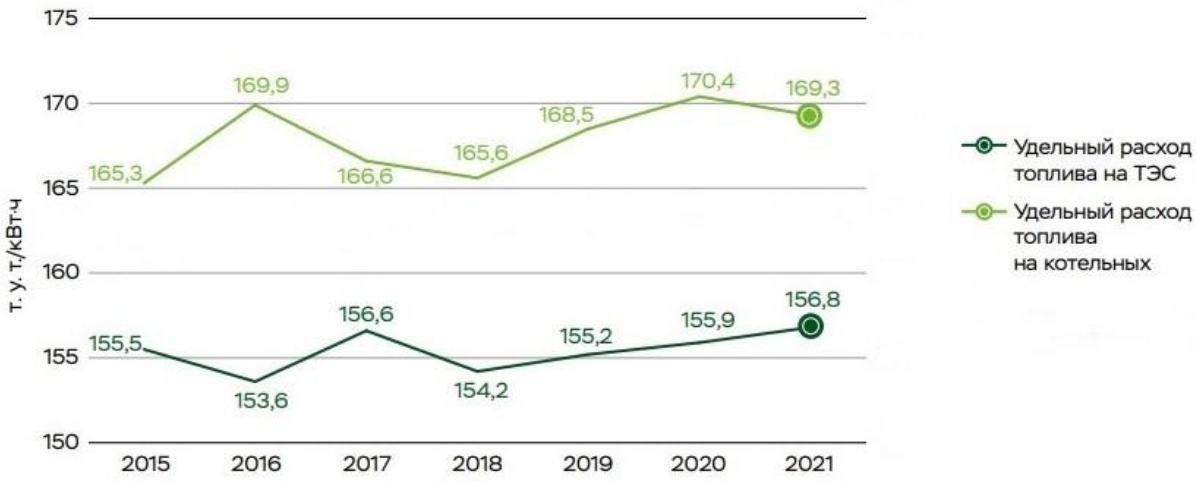


Рисунок 1 – Показатели удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии

Перспективным направлением решения проблемы являются комбинированные источники теплоснабжения с применением тепловых насосов, цель которых сократить потребление тепловой энергии систем теплоснабжения, получаемой за счет сжигания топлива, путем использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Теплонасосное оборудование может быть использовано как для покрытия нагрузок ГВС, так и для системы отопления. Сдерживающим фактором применения тепловых насосов в системах отопления является его сезонный характер, в то время как горячее водоснабжение нужно постоянно на протяжении всего года. Таким образом, используя теплонасосные системы для приготовления горячей воды, мы обеспечиваем более полную загрузку оборудования по сравнению с его применением для системы отопления, что для любого энергосберегающего оборудования крайне важно, поскольку самым непосредственным образом сказывается на сроках его окупаемости [2].

На территории России наибольший вклад в развитие энергосберегающих инженерных систем теплоснабжения зданий с применением тепловых насосов, использующие ВИЭ и ВЭР, внесла группа компаний «ИНСОЛАР». В 2015 г. они совместно с Фондом ЖКХ разработали пособие по повышению энергетической эффективности многоквартирных домов (МКД). Ими предлагаются следующие технические решения с применением ВИЭ и ВЭР [3].

Таблица 1 – Перечень рекомендуемых энергоэффективных технологий для МКД на основе ВИЭ и ВЭР

№ п/п	Наименование мероприятия	Снижение вида нагрузки или мощности систем ОВ и ГВС, %	Снижение затрат электроэнергии на покрытие вида нагрузки, %
1	2	3	4
1	Утилизация теплоты вытяжного воздуха с помощью тепловых насосов для приготовления горячей воды	30	60
2	Устройство гибридной ГВС с аккумулированием тепла и тепловыми насосами, использующими теплоту грунта и тепло вентиляционных выбросов	60	70
3	Использование солнечной энергии для приготовления горячей воды	25	15

Солнечная радиация имеет высокий температурный потенциал, хотя плотность энергии сравнительно невелика – порядка 0,6 кВт на 1 м^2, что требует значительных площадей воспринимающих устройств. Эффективность использования солнечной радиации в значительной мере зависит от климатических условий района применения. В средней полосе России использование солнечных коллекторов целесообразно в межсезонье и летний период, так как в зимний период солнечные коллектора выдают не более 20-30% теплоты, необходимой для покрытия нагрузки ГВС [4]. Помимо этого, приход солнечной радиации неравномерен во времени. По этой причине использование солнечной энергии требует применения аккумулирующих устройств [5].

Повышение эффективности системы теплоснабжения можно добиться при комбинировании солнечных коллекторов с тепловым насосом. В этом случае появляется возможность дублировать непостоянный источник тепловой энергии – солнечное излучение за счет получения дополнительной теплоты от теплового насоса, подключаемого к

низкотемпературному источнику теплоты, а также обеспечивать аккумуляцию излишков теплоты, вырабатываемой солнечными коллекторами [4].

Принципиальная схема ИТП с солнечными коллекторами и геотермальным тепловым насосом представлена на рис. 2.

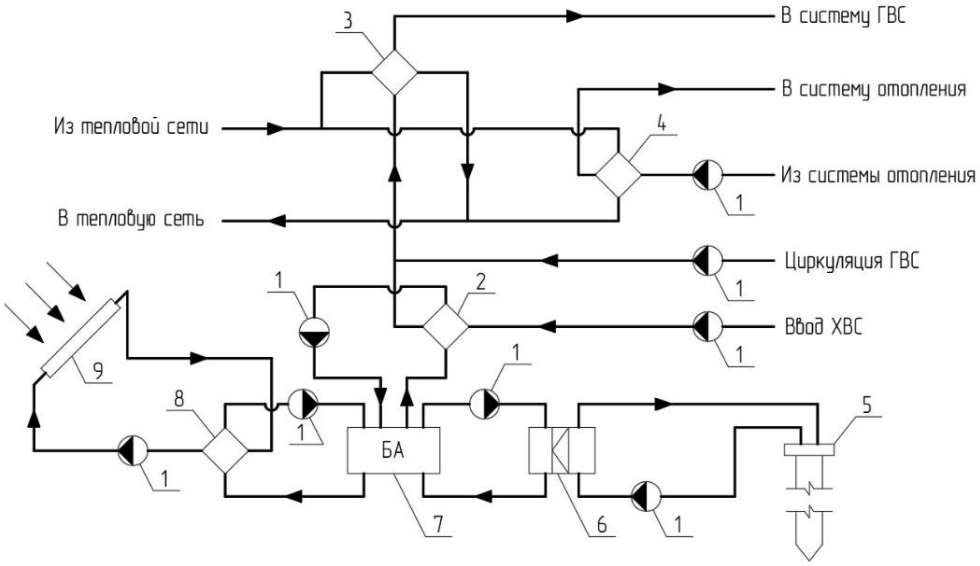


Рисунок 2 – Принципиальная схема ИТП с солнечными коллекторами и геотермальным тепловым насосом:
1 – циркуляционный насос; 2 – теплообменник ГВС 1-й ступени; 3 – теплообменник ГВС 2-й ступени; 4 – теплообменник отопления; 5 – грунтовый теплообменник; 6 – тепловой насос; 7 – бак-аккумулятор; 8 – теплообменник утилизации теплоты солнечного излучения; 9 – солнечный коллектор

Одно из эффективных направлений энергосбережения в зданиях – утилизация вентиляционных выбросов с помощью тепловых насосов. Средняя температура воздуха, выбрасываемого через вентиляционную систему жилых домов, находиться выше 18°С на протяжении всего года. Этот факт позволяет получить более высокий коэффициент преобразования теплоты по сравнению с другими источниками. Но вентиляционный воздух является сравнительно ограниченным источником теплоты и экономически не выгодно увеличивать воздушный вентиляционный поток, так как это приведет к увеличению расхода на отопление и вентиляцию. Решением данной проблемы является применение комбинированной системы с использованием теплоты вытяжного воздуха и теплоты грунта. [6]. В этом случае появляется возможность дублировать тепловую энергию утилизации вытяжного воздуха. Кроме того, при такой схеме появляется возможность более полно использовать снимаемое с вентиляции тепло даже в периоды, когда подпитка системы ГВС холодной водопроводной водой не требуется по причине отсутствия разбора воды жильцами. В такой ситуации теплообменник предварительного подогрева ГВС оказывается неэффективным, поэтому утилизируемое тепло вентиляционных выбросов разумно использовать в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии в контуре испарителей тепловых насосов [3].

Конструкция утилизатора теплоты вентвыбросов должна в обязательном порядке предусматривать мероприятия по борьбе с конденсатом. Так, должен быть организован отвод образующегося на калориферах конденсата и слив его в систему канализации, а сами калориферы следует оснащать каплеуловителями. Помимо этого, все поверхности воздуховодов после калорифера, по которым идёт охлаждённый воздух, должны быть теплоизолированы для предотвращения достижения точки росы и образования конденсата уже снаружи воздушного тракт [3].

Принципиальная схема ИТП с утилизацией тепла вентвыбросов и геотермальным тепловым насосом представлена на рис. 3.

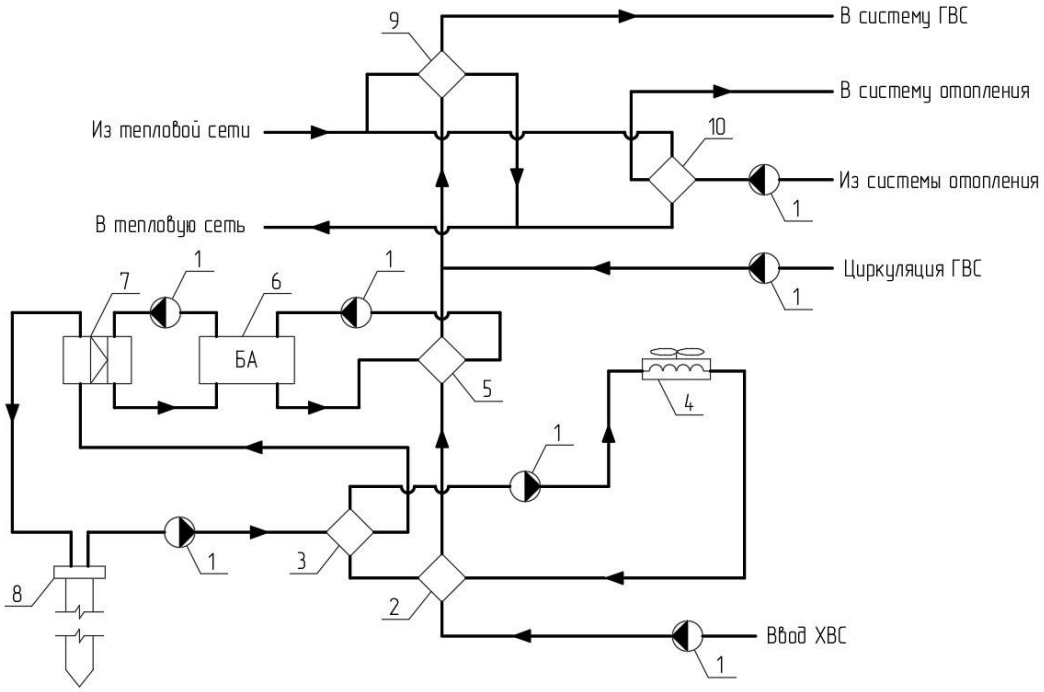


Рисунок 3 – Принципиальная схема ИТП с утилизацией тепла вентвыбросов и геотермальным тепловым насосом:
1 – циркуляционный насос; 2 – теплообменник предварительного подогрева ГВС; 3 – переохладитель; 4 – калорифер утилизатора теплоты вентвыбросов; 5 – теплообменник ГВС 1-й ступени; 6 – бак-аккумулятор; 7 – тепловой насос; 8 – грунтовый теплообменник; 9 – теплообменник ГВС 2-й ступени; 10 – теплообменник отопления

Вывод. Применение комбинированных систем, сочетающие в себе традиционные источники тепла и альтернативные, для получения горячей воды позволит повысить степень автономности здания, а также устранить проблемы, связанные с отключениями горячей воды в период проведения регламентных работ на тепловой сети. Еще одним результатом применения такого подхода является снижение необходимой зданию тепловой мощности, получаемой из тепловых сетей, что приводит к повышению экономической эффективности систем теплоснабжения.

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс] // Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf.

2. Лучшие практики использования альтернативных источников теплоснабжения [Электронный ресурс]. URL: https://www.reformagkh.ru/misc/Практики_АИТ.pdf.

3. Практическое пособие по повышению энергетической эффективности многоквартирных домов (МКД) при капитальном ремонте. Том 1 [Электронный ресурс]. URL: portal-energo_ru_e_ef_pri_kapremonte_t_1.pdf.

4. Слесаренко В.В. Особенности применения гелиоустановок с тепловыми насосами / В.В. Слесаренко, Г.А. Богданович, В.А. Жуков, И.Б. Слесаренко // Энергосбережение и водоподготовка, 2011. − №5. − т.73. − С. 24−28.

5. Методические рекомендации по определению влияния использования вторичных энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии на энергопотребление здания [Текст]. – М.: Минстрой России, 2019. – 58 с.

6. Титков Д.Г. Повышение энергоэффективности тепловых насосов при их использовании в системе утилизации теплоты удаляемого воздуха [Электронный ресурс] // Строительство: наука и образование. 2012. Вып. 4. Ст. 4. URL: http://www.nso-journal.ru/index.php/sno/pages/view/04-2012.

УДК 628.168

Балинченко Оксана Иосифовна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ВВ и ОВР**;**
Целуйко Артем Васильевич,
магистрант гр. ВВм-49а каф. ВВ и ОВР,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКА НА ЮГЕ ДНР С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОКНИСТОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

Очередная реновация на почве аэрации и фильтрования загрязненных железом вод плюс экологическое усовершенствование результата − представлена в этой работе. Подобные варианты уже были разработаны магистрантами: для поверхностных вод городского водохранилища, шахтных вод, а теперь – очередь скважинных вод, загрязненных железом, но претендующих стать питьевыми и не слишком дорогой ценой.

Ключевые слова: нетрадиционные водные ресурсы, волокнистые фильтры, подземные воды

В данной работе приведена усовершенствованная технология обезжелезивания подземных вод с весьма значительным содержанием соединений железа (6 мг/л по Fe3+при норме 1,5).

Такие воды используются в питьевом водоснабжении вынужденно, поскольку на Юге Донбасса (и не только) уже многие годы наблюдается жесточайший дефицит водных ресурсов, а после последних событий – он непременно усилится в разы. К сожелению, пока нет возможностей получать воду из традиционных поверхностных ресурсов, присоединиться к дальним резервам. Поэтому нужно задействовать свои возможности, максимально их развив за счет оптимальных технологий, свежих идей и реноваций всего, что еще работаспособно. Далее следует расчет одной из таких технологий.

Расчет волокнистого фильтра

Такие фильтры выбраны работать на первой ступени осветления (рисунок) после обработки воды реагентами. Технология разработана на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и охраны водных ресурсов ДОННАСА в 80-х годах прошлого века для широкого спектра природных и сточных вод и особо рекомендуется для малых производительностей ВОС − до 10 тыс. $м^3$/сут. [1, 2].

Расчетная практика накопила множество вариантов, общим достоянием которых являются обеспечение интенсивной продленной аэрации загрузки, легкая подстройка под конкретные составы обрабатываемой воды (регулирование окислительных процессов с минимумом использования кислотно-щелочных реагентов), что обеспечивает экономность и экологичность принятых вариантов технгологий. Кроме волокнистых фильтров, в процесс обезжелезивания могут включаются вертикальные отстойники, тонкослойные отстойники, скорые фильтры и другие солидные очистные сооружения, а также сооружения по обеззараживанию.

Особенно удачно ожидается использование волокнистых фильтров в процессах очистки шахтных вод для целой гаммы процессов, в том числе получения питьевой воды для длительно отстоянных шахтных вод (лишенных органики).

Вода с добавками коагулянта и др. необходимых реагентов, указанных в таблицах, поступает на фильтрующую поверхность волокнистого фильтра и очищается от хлопьев

коагулянта, вобравших все взвешенные вещества. Промывка фильтрующей поверхности от отработанных хлопьев происходит традиционно – в обратном направлении, но – воздухом. Его подачу нужно будет организовать. А осадок – изъять из системы и, скорей всего – высушить и захоронить. Для производительности 10 $м^3$/ч. по воде его объем не составит проблемы утилизации. Конкретное количество осадка следует из расчетов.

Таблица 1 − Расчет волокнистых фильтров конструкции ДОННАСА по методике [1, 2].

Наименование показателя или элемента	Един. измер.	Формула для определения	Результат
1	2	3	4
Определение основных параметров волокнистых фильтров			
1. Материал фильтрующей загрузки	Ерши из полиэфирных волокон	Плотность распределения определяется конструктивно удобством и доступностью	По конструктивным соображениям
2. Высота фильтрующей насадки	м	$h_н$	3
3. Расчетная скорость фильтрования в нормальном режиме	м/с	$v_н$ для маломутных вод	8
4. Допустимая скорость фильтрования в форсированном режиме	м/ч	$v_ф$ для маломутных вод	10
5. Принятая интенсивность продувки	л/(с*$м^2$)	ω	20
6. Длительность продувки при регенерации насадки	мин	$t_{пр}$=5-10	7
7. Число продувок в сутки	шт	$n_{ср}$= 4-6	6
8. Длительность простоя в связи с продувкой	час	$t_п$	0,5
9. Суточная производительность фильтров	$м^3$/сут	Q	10,3
10. Общая площадь фильтров	$м^2$	$F=Q/v_н(24-n*t_п)$ = =10,3/(24-6*0,5)	0,49

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
11. Принятые размеры одного фильтра	м	а*в	0,7*0,7
12. Принятая площадь одного фильтра	$м^2$	F_1=а*в	0,49
13. Принятое количество фильтров	шт	$N=F/F_1=0,49/0,49$	1
14. Число фильтров в ремонте	шт		1
15. Действительная скорость фильтрования в форсированном режиме	м/с	$v_н*N/N = 8*1$ $v_н= v_ф$	8
Распределительная система воздуха			
16. Выбранный тип распределительной системы			Воздушный коллектор с боковыми ответвлениями из пластмассовых дырчатых труб
17. Расход воздуха при продувке одного фильтра	$м^3/с$	$Ω=ω*F_1/1000=20*0,49/1000$	0,01
Труба для распределения воды по площади фильтра.			
18. Расчетный расход одного фильтра.	$м^3/с$	q = Q/n	0,003
19. Количество труб	шт		1
20. Расход воды на одну трубу	$м^3/с$		0,003
21. Скорость воды в трубе	м/с	По п. 10.7.6 [23]	0,5
22. Площадь сечения трубы	$м^2$	$d_1= q_1/v = 0,003/0,5$	0,006
24. Диаметр трубы	мм	$1000\sqrt{\frac{4f}{\pi}} = 1000\sqrt{\frac{4*0,006}{3,14}}$	87 (100)
25.Диаметр отверстия в трубе	мм	d_o не менее 25	25
Размеры фильтра и его объем			
26. Принятый угол между стенками призмы	град	ά=90	90
27. Высота призматической части	м	$h_п = 0,5(b-2d_1)ctgά/2 =0,5(0,7-2*0,1)$	0,3
28. Полная высота фильтра	м	$H = h_н + h_п = 3+ 0,3$	3,3

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
29. Объем фильтрующей насадки и защитной зоны	$м^3$	$W_н = a*в(h_н + 0,8) = 0,7*0,7(3 +0,8)$	1,9
30. Объем призматической части фильтра	$м^3$	$W_п = 0,5a*h_п (в+2d_1) = 0,5*0,7*0,3(0,7 +2*0,1)$	0,09
31. Объем воды в одном фильтре	$м^3$	$W_ф = W_н+W_п = 1,9 + 0,09$	1,99

Волокнистый фильтр, обычно индивидуально изготовляемый под конкретный расчет, по месту монтажа, показан на рисунке. При определенных условиях, изученных в данной магистерской работе, коагулянт может не понадобиться (безреагентное обезжелезивание). Это даст ощутимый экономический и экологический эффект предложенной технологиии обезжелезивания.

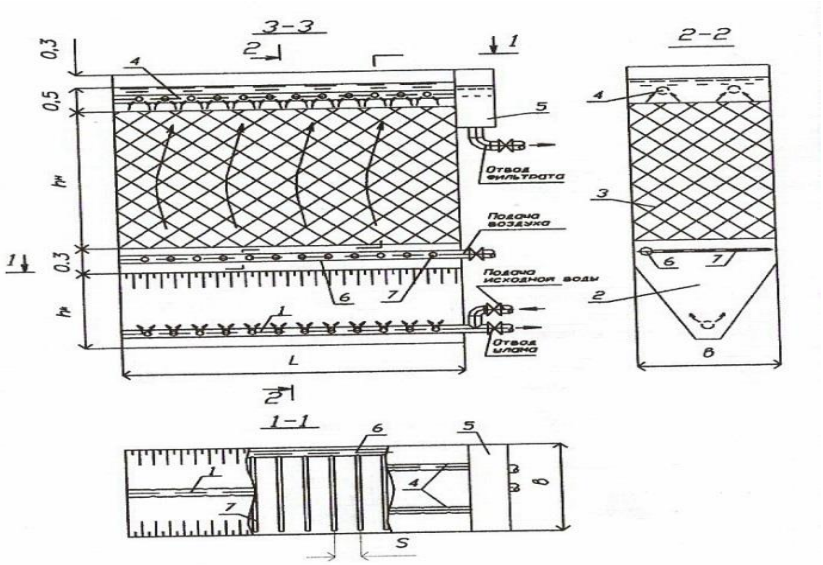


Рисунок 1 - Схема устройства волокнистого фильтра:
1- дырчатая труба для распределения исходной воды; 2- конфузор; 3- волокнистая насадка; 4- дырчатые трубы для сбора осветленной воды; 5- боковой карман; 6- коллектор сжатого воздуха; 7- дырчатые трубы для распределения сжатого воздуха.

Список литературы

1. Омельченко М.П., Коваленко Л.І. Про разрахунок волокняних фільтрів [Текст]//«Проблеми екології» №1, 2012. с. 37-42.

2. Проектирование водопроводных очистных сооружений: учебное пособие[Текст]/ В.Н. Нездойминов , А.Я. Найманов, Н.П., Омельченко, И.Б.Синежук. Макеевка.: ДОННАСА, 2015.- 74 с.

УДК 628.17

Круподеров Павел Сергеевич,
учебный мастер Донецкого
политехнического техникума,
ст. гр.ЗВВ-54а**;**
Целуйко Артем Васильевич,
магистрант гр. ВВм-49а каф. ВВ и ОВР;
Балинченко Оксана Иосифовна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ВВ и ОВР**;**
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ

Выбор способа учета расхода жидкости в крупных и мелких организациях-потребителях воды, для коммунальных потребностей и на предприятиях, использующих воду на технологические нужды и сбрасывающих стоки, на ТЭЦ и других промышленных объектах зависит от многих факторов. Это расход, степень загрязнения потока, тип системы (напорная или безнапорная), место планируемой установки и др.

Ключевые слова: водосчетчики вахометрические, электромагнитные полнопроходные, штанговые электромагнитные, ультразвуковые, радарные и лазерные, на основе уровнемера

Выбор способа учета расхода жидкости в крупных и мелких организациях-потребителях воды, для коммунальных потребностей и на предприятиях, использующих воду на технологические нужды и сбрасывающих стоки, на ТЭЦ и других промышленных объектах зависит от многих факторов. Это расход, степень загрязнения потока, тип системы (напорная или безнапорная), место планируемой установки и др.[1].

Классификация счетчиков воды по конструкции и принципу действия [2]

По принципу их устройства и работы можно выделить такие виды расходомеров:

Тахометрические. Они состоят корпуса с установленной в нем лопастной крыльчаткой, которая вращается за счет перемещения воды и передает количество сделанных оборотов на считывающее устройство. Учитывая их простоту и дешевизну, именно такие счетчики используются в качестве бытовых водомеров на малых диаметрах напорных трубопроводов. В промышленном учете, где оперируют большими расходами, они не применяются из-за громоздкости и металлоемкости, а также создания гидравлического сопротивления для движения потока и возможных механических поломок.

Электромагнитные полнопроходные. Это высокоточные приборы объемного учета расхода жидкости, используемые в трубопроводных системах с избыточным давлением жидкости.

Штанговые электромагнитные. С их помощью выполняется замер скорости в середине потока в закрытых полностью заполненных трубах (под давлением). Используются для различных диаметров.

Ультразвуковые. Различают водомеры, работающие по время-импульсному методу измерения, методу Доплера и кросс-корреляционные. Сигнал на считывающее устройство передается с ультразвуковых датчиков. Это одни из наиболее широко применяемых промышленных счетчиков. В зависимости от применяемых датчиков используются в напорных и самотечных системах.

Радарные и лазерные системы измерения расходов. Бесконтактные устройства, применяемые в промышленности. Применяются для самотечных потоков.

Счетчики на основе уровнемера. Их используют в безнапорных системах на лотках Вентури или Паршаля, на каналах с малым водопотреблением либо для технологического учета. При помощи беспроводных уровнемеров можно получить данные об удаленных и труднодоступных объектах.

По самым современным онлайн-источникам, в настоящее время в системах водопровода отдается предпочтение ультразвуковым расходомерам как наиболее сочетающим в себе точность, надежность и материальную доступность. Рассмотрим именно их подробнее.

1.Ультразвуковой метод измерения расхода в системах водоснабжения [По материалам онлайн-публикации **[3].**

Рисунок 1 - Вид одного из ультразвуковых расходомеров (УЗР)
с установочной платформой

Ультразвуковыми расходомерами называют расходомеры, принцип работы которых основан в прохождении ультразвуковой волны через поток жидкости или газа. (рис.1).

Ультразвуковые расходомеры работают в диапазоне частот от 20кГц до 1000 МГц.

Диапазон частот от 20кГц до 1000 МГц (рис.2).

Рисунок 2 - Диапазон рабочих частот УЗР

Для прохождения волны и её интерпретации необходимы приемник и передатчик, которые обладают пьезоэлектрическим эффектом (рис. 3). Таким эффектом обладают следующие материалы кварц, турмалин, тартрата калия, сульфата лития, титанат бария, цирконат титаната свинца. Помещая пьезоэлектрический кристалл в электрическое поле

упругая деформация вызывает уменьшение или увеличение его длины в соответствии с величиной и направлением полярности поля.

Рисунок 3 - Пьезлокерамические приемо-передатчики для УЗР

Список литературы

1. СНиП 2.04.01-85* Внутренний водопровод и канализация зданий.Зарегистрирован Росстандартом в качестве **СП 30.13330.2010.** Дата введения 1986-07-01. Гл.11, пп. 11.1-11.3, 11.5-11.7)[Электронный ресурс]. Режим доступа:UPL:http://docs .cntd.ru/document/ 5200243 (дата обращения 20.05.2020).

2. ВИСТАРОС. Принцип работы расходомера, из чего состоят счетчики воды [Электронный ресурс]. Режим доступа:UPL:https://vistaros.ru/stati/rashodomeryi/rashodomery-vidy-i-printsip-dejstviya.html (дата обращения 20.05.2020).

3. Блог «Инновации в технике»[Электронный ресурс]. Режим доступа:UPL:eno-tec.ru/blog/teplo-biog/ultrasonic-method(дата обращения 21..05.2020).

УДК 628.1

Зайченко Людмила Геннадьевна
кандидат технических наук,
доцент каф. ВВ и ОВР;
Хапчук Федр Николаевич,
ассистент каф. ВВ и ОВР;
Горбатов Андрей Игоревич
студент гр. ВВ – 51а каф. ВВ и ОВР,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

РЕКОНСТРУКЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА В СТРУКТУРЕ КП «КОМПАНИЯ «ВОДА ДОНБАССА»

Выполнен анализ существующей системы подачи и распределения воды города Ждановка, произведён гидравлический расчёт действующей системы централизованного водоснабжения города. По результатам расчёта выявлены основные недостатки существующей системы водоснабжения. Разработаны мероприятия, направленные на снижение потерь воды, а также удельных норм расхода электроэнергии на оказание услуг водоснабжения.

Ключевые слова: водопроводная сеть, система подачи и распределения воды, трубопровод, магистральные водоводы

Введение. Современные системы подачи и распределения воды (СПРВ) являются сложными техническими системами, имеющими большую размерность (схемы городских водораспределительных сетей составляют десятки тысяч участков). Эксплуатация и проектирование этих систем невозможна без постоянного и тщательного контроля параметров их функционирования. В то же время высокая стоимость измерительной аппаратуры, средств коммуникации, большая размерность сетей и вероятностный характер водопотребления не позволяют осуществлять постоянный аппаратный контроль на требуемом уровне.

Модели, используемые в настоящее время при эксплуатации СПРВ, являются приближенными и неадекватно описывают протекающие в них процессы. Вопросы эксплуатации СПРВ в аварийных ситуациях для установившегося потокораспределения в настоящее время изучены недостаточно. В этой связи особую актуальность приобретают исследования, ориентированные на разработку принципов, инженерных реализаций проблемы принятия оптимальных решений при эксплуатации СПВР в штатных и аварийных режимах работы.

Целью работы является оптимизация работы и снижение затрат на обслуживание системы водоснабжения г. Ждановка (Донецкая Народная Республика). Для этого необходимо осуществить анализ существующего состояния системы водоснабжения города; выполнить гидравлический расчёт эквивалентной математической модели действующей системы подачи и распределения воды города; разработать практические рекомендации по оптимизации работы системы водоснабжения.

Основная часть. Анализ существующего состояния системы водоснабжения города выявил следующее. Водоснабжение г. Ждановка и близлежащих предприятий осуществляется по водоводам Д=300 мм и Д=500 мм от ВНС «Ольховая» Макеевского РПУ КП «Компания

«Вода Донбасса»». Вода от ОФС Макеевского РПУ КП «Компания «Вода Донбасса»» подаётся непосредственно через ВНС г. Ждановка, а затем по двум водоводам Д=300 мм и Д=500 мм поступает в городскую распределительную сеть. На территории ВНС г. Ждановка расположены резервуары чистой воды. Общий объем воды, которая подаётся на город, составляет 8500 м. куб. в сутки. Общая протяжённость водопроводных сетей, находящихся на балансе Ждановского участка Кировского ПУВКХ, составляет 48,7 км, из них ветхих и в аварийном состоянии – 22,402 км (46 %).

Распределение и подача воды абонентам осуществляется по закольцованным и по разветвлённым сетям, в основном выполненным из стальных и чугунных трубопроводов диаметром 50-300 мм. Максимальный перепад геодезических отметок в городе составляет 35 м. Магистральные водоводы проходят как в заниженной части местности, так и расположены на участках с завышением геодезических отметок земли, что сказывается на водоснабжении абонентов. В повышенных переломных местах возможное скопление воздуха, что значительно снижает пропускную способность трубопроводов, создаются воздушные пробки.

На основании результатов гидравлического расчета существующей системы водоснабжения выполнен анализ работы системы водоснабжения города Ждановка, установлено следующее:

– потребителей, испытывающих перебои в водоснабжении – 50 % (32 узла с недостаточным свободным напором, суммарный узловой расход составляет 50,16 л/с – 50 % от общего расхода по городу 99,95 л/с);

– потребителей с избыточным свободным напором – 32 % (86 узлов с избыточным свободным напором, суммарный узловой расход составляет 31,67 л/с – 32 % от общего расхода по городу 99,95 л/с);

– 7 % от общей протяжённости сетей трубопроводов не соответствует требованиям СНиП (15 участков трубопроводов, диаметр которых не соответствует СНиП, т.е. 2280,231 м водопроводной сети имеют диаметр менее 100 мм);

– 6 % трубопроводов имеют резерв пропускной способности (13 участков трубопроводов, скорость которых не соответствует СНиП, т.е. 2160,80 м наружных сетей водоснабжения имеют скорость менее 0,2 м/с);

– 35% трубопроводов «перегружены» (35 участков трубопроводов, скорость которых не удовлетворяет требованиям СНиП).

Для расчётного водопотребления 360 м^3/сут. (в зависимости от часовой нагрузки) подобрано насосное оборудование: NB 60-160/173. Работа рекомендуемого насосного оборудования характеризуется ступенчатым графиком, в зависимости от изменения водопотребления по часам суток (рис. 1). Водопроводная сеть должна обеспечивать бесперебойную подачу воды ко всем потребителям. Как правило, рекомендуется устраивать кольцевую сеть. Водопроводная сеть должна обеспечивать бесперебойную подачу воды ко всем потребителям (рекомендуется устраивать кольцевую сеть).

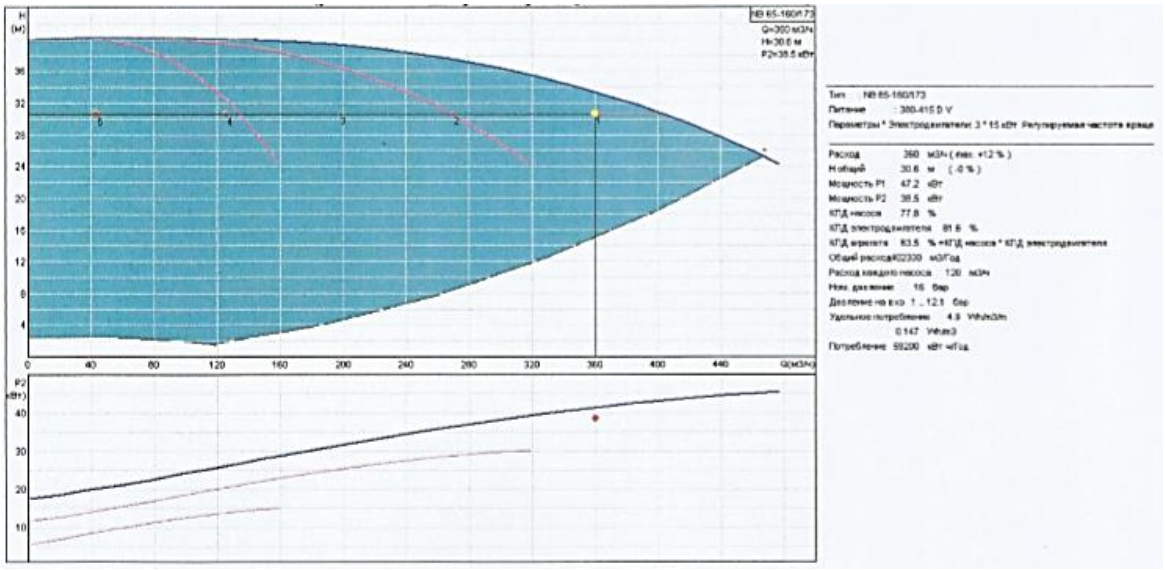


Рисунок 1 – Показатели работы насосного оборудования

Три зоны по закольцованным и разветвлённым сетям обеспечивают распределение воды по территории города. Увязка рекомендуемой трассировки сетей проводится с помощью программного комплекса MikeNET. В самом городе с помощью резервирования отдельных участков водоводов и регуляторов давления выделены три зоны водоснабжения:

– высоконапорная – северная часть города (кварталы II-IV этажей);

– средненапорная – центральная, южная, восточная и западная части города (застройка I-II этажа);

– низконапорная – юго-западная часть города (застройка Iэтаж).

Произведено резервирование и полное исключение из работы системы минимально нагруженных участков сети.

Прокладка новых трубопроводов обеспечит рациональное распределение потоков, а также выполнит зонирование системы водоснабжения. Замена существующих водоводов на трубопроводы с оптимальным диаметром обеспечит работу водопроводной сети по полному сечению трубы, а также экономичные скорости движения воды, которые позволят избежать избыточных потерь напора в трубопроводах.

Применение регуляторов давления воды позволяет понизить на вводах в малоэтажные здания давление воды на входе до требуемого для обеспечения комфортности. В результате этого, расходы воды в малоэтажной застройке сократятся до оптимальных и, следовательно, параметры системы водоснабжения будут стремиться к номинальным. Увеличится давление во всей системе, что позволит улучшить водоснабжение многоэтажных и стоящих на возвышенности зданий.

Выводы. Выполнен анализ существующей системы подачи и распределения воды города Ждановка, произведён гидравлический расчёт действующей системы централизованного водоснабжения города. По результатам расчёта выявлены основные недостатки существующей системы водоснабжения. Разработаны мероприятия, направленные на снижение потерь воды, а также удельных норм расхода электроэнергии на оказание услуг водоснабжения.

Список литературы

1. Найманов, А. Я. Водоснабжение / Найманов А. Я., Никиша С. Б., Насонкина Н. Г. и др. – Донецк, 2004. – 649 с.

2. Маслак, В. Н. Трубопроводы водоснабжения. Вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации / Маслак, В. Н., Зотов Н. И. // Отечественный и зарубежный опыт. – Донецк, 2007.

3. Самойленко, Н. И. Функциональная надёжность магистральных трубопроводных транспортных систем : Монография / Н. И. Самойленко, Т. С. Сенчук. – Х. : Изд-во «ХТМТ», ХНАГХ, 2009. – 276 с.

4. Лернер, А. Д. Проблемы обоснования величин неучтённых расходов воды в системах водоснабжения и водоотведения / Лернер А. Д., Домнин К. В., Бойко С. В., Кочетова М. Г. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – №4. – С. 64-70.

5. Зайченко Л. Г. Сокращение технологических расходов и потерь воды на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства / Л. Г. Зайченко, А. В. Клемешова, М. В. Мироненко : Электронный сб. статей по материалам открытой IV международной очно-заочной научно-практической конф. молодых учёных и студентов (27 февраля 2020 г., г. Макеевка) : Макеевка, 2020. – С.278-282.

6. Айсин, Э. Т. Факторы, влияющие на показатели технологических расходов питьевой воды в системе коммунального хозяйства / Айсин Э. Т., Лукьянчук Я. С., Зайченко Л. Г. // Электронный сборник статей по материалам I открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых учёных и студентов (26 декабря 2019 г., г. Макеевка) Макеевка, 2019. – С. 158-162.

УДК 696.2:622.691.4

Головач Юлия Александровна,
кандидат технических наук, доцент каф. ТТГВ;
Семешко Вячеслав Александрович,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Вережак Олеся Эдуардовна,
магистрант гр. ЗТГВм-52б каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Современная система управления объектами газовых сетей, регламентируемая требованиями нормативной документации, базируется на функциях оценки и прогнозирования показателей надежности и безопасности. В данной статье рассматривается понятие технологической надежности в системах газоснабжения, два основных пути повышения надежности газоснабжающих систем. Исследован вопрос применения геоинформационных систем (ГИС) для сетей газораспределения, позволяющих оценивать и прогнозировать надёжность в режиме реального времени.

Ключевые слова: надёжность, газовые сети, вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, геоинформационная система, резервирование

Развитие народного хозяйства стран СНГ невозможно без создания надежной газотранспортной системы, где особое внимание уделяется надежности стальных подземных газопроводов как наиболее повреждаемых элементов. По этой причине особую актуальность приобретает вопрос разработки мероприятий по оптимизации технологических режимов работы газотранспортной системы, проведение мероприятий по энергосбережению и повышению ее показателей надежности [1].

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [2]. Как комплексный показатель, надежность систем газоснабжения зависит от большого количества факторов, при соблюдении которых будет обеспечена бесперебойная и безотказная работа систем.

Основными направлениями в целях повышения надежности и безопасности газотранспортной системы являются повышение качества проектных работ и строительства объектов газотранспортной сети, совершенствование системы эксплуатации, включая диагностику, техническое обслуживание и ремонт; реконструкция и техническое перевооружение производства; подготовка кадров и повышение квалификации. Однако следует отметить, что проведение реконструкции требует существенных финансовых и материальных ресурсов. В связи с этим возникает необходимость в средствах повышения технологической надежности газораспределительной сети, в частности, использовании инструментов управления надежностью, основанных на современных технологиях статистического управления процессами эксплуатации [3, 4].

Вопросы методического обеспечения требуют дальнейшего совершенствования как в части повышения достоверности оценки надежности, так и в части разработки новых алгоритмов и программ.

На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для решения организационно-технических вопросов: выбора оптимального варианта схемы; способа резервирования; количества запасных элементов; периодичности профилактики и т.д.

Существуют два основных пути повышения надежности газоснабжающих систем. Первый путь – это повышение надежности и качества элементов, из которых состоит система. В частности, использование труб и оборудования, материалов с лучшими показателями (стали с повышенным прочностными характеристиками, более долговечные изоляционные материалы и пр.), повышение требований к качеству конструкций и изготовлению изделий (труб, задвижек, оборудованию газопроводов), повышение качества строительно-монтажных работ и повышение требований к контролю качества строительства.

Для повышения надежности газоснабжающих систем используют прежде всего именно этот путь, который реализуют при конструировании, изготовлении и приемке элементов и узлов в эксплуатацию. Но когда исчерпываются технические возможности повышения качества элементов или когда дальнейшее повышение качества оказывается экономически невыгодными, тогда идут по второму пути – пути резервирования.

Ввиду того, что первичной величиной, используемой для оценки надежности газопроводов, является количество их повреждений, приводящих к утечкам, за определенный период времени, основным вероятностно-статистическим показателем надежности газопроводов становится вероятность безотказной работы и параметр потока отказов.

Вероятность безотказной работы является основным критерием надежности, характеризующим безотказность работы элемента (системы) в течение заданного периода времени. Безотказность сложных технических систем, к которым относятся распределительные системы газоснабжения, характеризуется более сложным вероятностным показателем – показателем качества функционирования. Системы газоснабжения – ремонтируемые системы. Поэтому они характеризуются ремонтопригодностью – свойством, заключающимся в приспособленности системы к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Основным показателем ремонтопригодности системы газоснабжения является время восстановления отказавшего элемента τ_P.

Основная задача расчета надежности разветвленной газовой сети сводится к определению показателя надежности принятой схемы, т.к. есть нерезервированная и любой отказ элемента приводит к отказу системы. Кроме того, различное расположение отключающих устройств (т.е. различное секционирование системы) также характеризуются различной надежностью. В связи с этим возникает задача оптимизации схемы разветвленной газовой сети и ее секционирования, которая позволяет запроектировать сеть с наибольшим значением показателя надежности. Если же этот показатель окажется ниже требуемого уровня, то необходимо резервирование сети [3, 4].

Расчет надежности кольцевой сети ведут в два этапа: на первом обосновывают необходимый структурный резерв, на втором – резерв пропускной способности.

Сложившаяся за многие годы практика строительства и эксплуатации газораспределительных сетей определила большой спектр сочетаний факторов, влияющих на надёжность. Рост объемов и видов диагностической информации о техническом состоянии газопроводов приводит к необходимости совмещения в едином координатном пространстве различных видов обследований. Соответственно, появляется необходимость применения программных инструментов для систематизации диагностических данных нескольких временных периодов. Поэтому в последнее десятилетие геоинформационные системы (ГИС) и соответствующие технологии активно используются не только как средство визуализации и подготовки к печати электронного картографического материала, но и для прогноза и комплексного анализа технического состояния газопроводов [6].

Использование геоинформационных систем при строительстве газопроводов позволяет:

- сформировать единое информационное и координатное пространство;
- структурировать и систематизировать разнородные данные;
- обеспечить одновременный доступ многих пользователей к одним и тем же данным;
- избежать дублирования данных;
- обеспечить информационную безопасность данных;
- повысить оперативность сбора, внесения и потребления данных;

- создать шаблоны информационных отчетов с автоматическим заполнением их оперативными данными;
- повысить скорость, качество и эффективность принятия решений;
- обеспечить централизованное хранение базы данных.

Таким образом, для повышения надёжности газораспределительных сетей геоинформационные технологии объединяют в единый комплекс данные, собранные в процессе проектирования, строительства и эксплуатации устройств газораспределительных сетей, методы определения показателей надёжности газораспределительных сетей по результатам эксплуатации, прогнозирования отказов, прогнозирования аварийных заявок на обслуживание элементов газораспределительных сетей, моделирование обслуживания на ремонт элементов газораспределительных сетей.

Система управления надёжностью газораспределительных сетей призвана обеспечить своевременную и скоординированную поддержку принятия управленческих решений на рабочих местах техническими специалистами и ремонтным персоналом структурных подразделений.

Практическая ценность такой системы заключается в возможности разработки комплекса математических моделей и методов прогнозирования и мониторинга показателей надежности, действующей в режиме реального времени и способствующей переходу к предупредительной системы обслуживания и ремонтов по прогнозным показателям надежности.

Список литературы

1. Харионовский, В.В. Проблемы надежности и ресурса газопроводных систем / В.В. Харионовский // Наука о природном газе: настоящее и будущее. – М.: ВНИИГАЗ, 1998. – С.320-337.

2. Ионин, А.А. Газоснабжение: учебник для вузов / А.А. Ионин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.

3. Демченко, М.С. Определение показателей надежности элементов системы газоснабжения: методические указания / М.С. Демченко, А.Н. Токарева, С.В. Панченко. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2021. – 21с.

4. Тихомиров, С.А. Влияние падения нагрузки потребителей на оптимальную величину давления источника газоснабжения / С.А. Тихомиров, Г.С. Гришин, В.А. Маринченко // Инженерный вестник Дона, 2017. – №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4201.

5. Черемисин А. В. Повышение технологической надежности газораспределительных сетей на основе статистического анализа: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» / Черемисин Андрей Вячеславович; [Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Воронеж, 2009. – 17 с.

6. Косова, Е.Ю. Разработка маршрутных карт газопроводов в Первомайского района г. Барнаула с использованием ГИС / Е.Ю. Косова, Т.Е. Лютова. // Материалы XVI научно-практической конференции молодых ученых (17-25 ноября 2014 г.) [Электронный ресурс]:[Электронный журнал]. – электрон. дан. Режим доступа: http://www.agmu.ru/files/documents/1657/molodezh-barnaulu-2014-materialykonferentsii.pdf

УДК 696.2:622.691.4

Головач Юлия Александровна,
кандидат технических наук, доцент каф. ТТГВ;
Якубовский Александр Станиславович,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Морозов Владислав Евгеньевич,
магистрант гр. ЗТГВм-52б каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Качество комплексной защиты оценивается значением переходного сопротивления, которое характеризует состояние изоляционного покрытия и позволяет определять расход тока катодной поляризации. Выявлено, что при длительной эксплуатации трубопроводов защитные характеристики изоляционного покрытия снижаются.

В статье исследован вопрос прогнозирования изменения защитных свойств изоляционных покрытий магистральных газопроводов с течением времени. Рассмотрены зависимости, позволяющие определять остаточный срок службы изоляционного покрытия.

Ключевые слова: изоляционное покрытие, магистральный газопровод, электрохимическая защита, переходное сопротивление, остаточный срок службы

В современных условиях развития газовой промышленности одной из важных задач является рациональное использование природного газа, что невозможно без создания системы газоснабжения, отвечающей необходимым требованиям надежности [1].

Защиту трубопроводов от коррозии независимо от коррозионной активности грунта, района прокладки, наличия и величины блуждающих токов необходимо осуществлять комплексно: защитными покрытиями и средствами электрохимической защиты (катодная, протекторная и дренажная защита). Актуальным является проведение исследований, связанных с прогнозированием долговечности магистральных газопроводов, в частности их защитных покрытий.

Защитное покрытие отделяет поверхность металла сооружения от почвенного электролита для подземных металлических сооружений, что предотвращает почвенную коррозию. Защитные свойства изоляционных покрытий магистральных трубопроводов со временем изменяются (снижаются) под влиянием многих факторов, вызванных условиями строительства и эксплуатации трубопроводов [2].

Старение покрытий вызывает необходимость либо увеличивать защитные токи катодных станций и их количество, либо ремонтировать изоляцию на данном участке для поддержания защитной плотности тока на данном участке сооружения в течение всего периода эксплуатации [3].

Оценка долговечности защитных покрытий трубопроводов - важная задача, успешное решение которой позволяет оптимально назначить вид изоляции в зависимости от конкретных условий эксплуатации, планировать сроки капитального ремонта трубопроводов, а также выполнять технико-экономические расчёты эффективности применения изоляционных материалов и покрытий.

Среди изоляционных покрытий различают:

- изоляционные покрытия на битумной основе: битумные покрытия, битумная изоляция, армированная двойным слоем стекловолокнистого рулонного материала, пропитанного поливинилацетатом, битуморезиновая изоляционная мастика, покрытие из битуморезиновой мастики, армированной стекловолокнистым холстом;
- изоляционные покрытия из полимерных материалов: полихлорвинил, полиэтилен;

- изоляционные покрытия из неорганических материалов: изоляционные покрытия из стеклоэмалей, армированная цементная изоляция [4].

Защитные свойства изоляционных покрытий наиболее полно характеризуются переходным сопротивлением, представляющим собой интегральную оценку защитной способности системы «труба-покрытие-грунт» [5]. Срок службы защитного покрытия подземных газопроводов определяется временем, в течение которого величина переходного сопротивления защитного покрытия снизится до предельного значения [6-9].

Для долгосрочных прогнозов в качестве основного критерия старения покрытий применяется функциональная зависимость

$$R = f(t), \quad (1)$$

где R – переходное сопротивление металл – покрытие – грунт или переходное сопротивление труба – земля, Ом·м или Ом·м^2,

t – время эксплуатации изолированного газопровода, лет.

При помощи этого показателя с достаточной степенью точности можно оценить достоинства и недостатки изоляционного материала и влияние на покрытие внешних условий. Переходное сопротивление позволяет оценивать состояние изоляционных материалов в процессе эксплуатации без нарушения и вскрытия траншеи.

На стадии проектирования предельный срок службы защитного покрытия $t_п$, год, определяется по формуле [10]

$$t_n = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln\left[\frac{R_н}{R_n}\right], \quad (2)$$

где $R_н$ – начальное значение переходного электрического сопротивления защитного покрытия на законченном строительством газопроводе, Ом·м^2;

$R_п$ – предельно допустимое значение переходного электрического сопротивления защитного покрытия газопровода, Ом· м^2;

α – постоянная времени старения защитного покрытия, 1/год [5, 11].

Прогнозирование изменения во времени переходного сопротивления трубопровода на единицу длины рассчитывается по формуле [5]

$$R_п'(t) = R_р' + R_{изо}' \cdot e^{-\alpha \cdot t}, \quad (3)$$

где $t_ф$ – срок эксплуатации трубопровода, год;

$R_р'$ – сопротивление растеканию трубопровода, Ом·м;

$R_{изо}'$ – начальное значение сопротивления изоляции трубопровода, Ом·м, вычисляемое по формуле

$$R_{изо}' = \frac{R_{изо}}{\pi \cdot D_m}, \quad (4)$$

где $R_{изо}$ – начальное сопротивление изоляции уложенного в траншею и засыпанного трубопровода, Ом· м^2, принимается по таблице 7.1 [5];

$D_т$ – диаметр трубы, м.

Сопротивление растеканию тока трубопровода $R_р'$ на единицу длины, Ом·м, вычисляют по формуле (5) и на единицу площади $R_р$, Ом·м^2, по формуле (6)

$$R_p' = \frac{\rho_г}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{0{,}4 \cdot \pi \cdot R_p'}{D_m \cdot H_m \cdot R_m}, \quad (5)$$

$$R_p = \frac{\rho_г \cdot D_m}{2} \cdot \ln \frac{0{,}4 \cdot R_p}{D_m^{\,2} \cdot H_m \cdot R_m}, \quad (6)$$

где $\rho_г$ – среднее удельное электрическое сопротивление грунта, Ом· м, принимается по [5];

$H_т$ – глубина укладки трубопровода, м;

$R_т$ – продольное сопротивление трубопровода, Ом/м, которое определяется по формуле

$$R_m = \frac{\rho_m}{\pi \cdot (D_m - \delta_m) \cdot \delta_m}, \quad (7)$$

где $\rho_т$ – удельное электрическое сопротивление материала трубы, Ом·м, которое определяется в зависимости от марки стали по таблице 7.2 [5];

$\delta_т$ – толщина стенки трубы, м.

На рисунке 1 приведена зависимость изменения сопротивления изоляционного покрытия от времени эксплуатации трубопровода, на основании которой можно прогнозировать необходимую величину защитного тока для участка трубопровода.

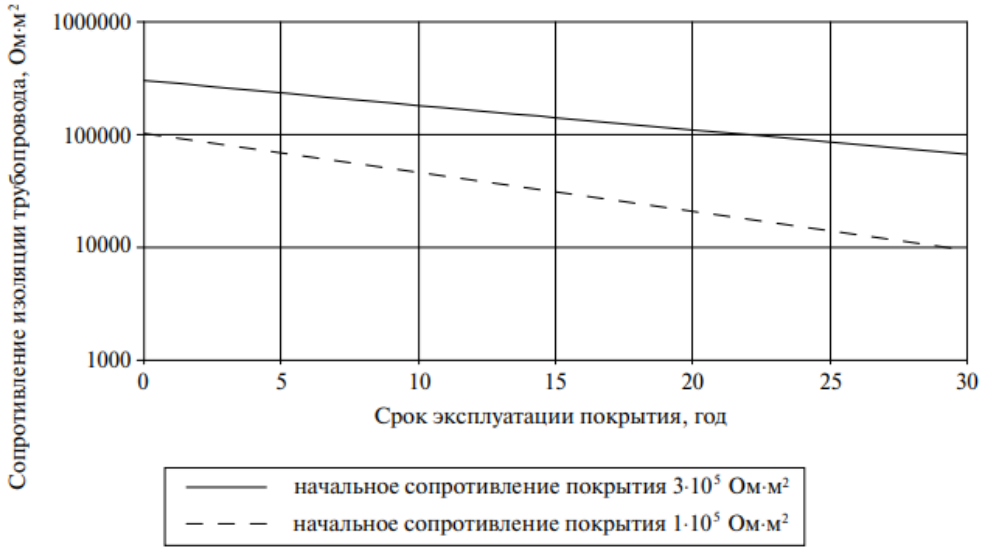


Рисунок 1 – Прогнозное изменение сопротивления изоляционного покрытия различных типов во времени эксплуатации трубопровода

Состояние изоляционного покрытия оценивается по фактическому переходному сопротивлению в сравнении с критическим (предельным) значением конечного переходного сопротивления «труба-покрытие-грунт».

Если фактическое значение переходного сопротивления меньше критического, делается вывод о полной деградации изоляционного покрытия на данном участке газопровода.

При определении изоляционного покрытия на участке газопровода, как полностью деградировавшего или находящегося на пределе защитных свойств, в случае экономической целесообразности назначается корректировка режимов работы действующих установок ЭХЗ, а при недостаточности принимаемых мер – обустройство на газопроводе дополнительных пассивных и активных средств ЭХЗ.

При экономической нецелесообразности дополнительных защитных мероприятий назначаются мероприятия по защите локальных зон и остаточный срок службы газопровода рассчитывается с учетом прогнозируемого уменьшения толщины стенки труб в результате коррозии, исключая защитные свойства изоляции.

Список литературы

1. Рудаченко, А.В. Эксплуатационная надежность трубопроводных систем: учебное пособие / А.В. Рудаченко, С.С. Байкин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 117 с.

2. Зиневич, А. М. Состояние и перспективы производства и применения изоляционных материалов и покрытий / А.М. Зиневич, А.Т. Санжаровекий, Б.В. Уразов // Защита трубопроводов от коррозии. - 1985.- С. 3-14.

3. ВСН I-53-74 Указания по прогнозированию изменения защитных свойств изоляционных покрытий и параметров установок катодной защиты магистральных трубопроводов. – М.: ЦНТИ ВНИИСТ, 1974. – 24 с.

4. Никитенко, Е.А. Электрохимическая защита магистральных газопроводов от коррозии: [учебное пособие при подготовке и повышении квалификации кадров в учебное - курсовой сети Главгаза СССР] / Е. А. Никитенко. - Москва: Гостоптехиздат, 1962. - 232 с.

5. СТО Газпром 9.2-003-2009 Проектирование электрохимической защиты подземных сооружений. – М.: ОАО «Газпром», 2009. – 43 с.

6. Вэй, Б. Метод определения остаточного ресурса защитных покрытий трубопроводов / Вэй Бэй, Ф.М. Мустафин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 2. – С.151-158.

7. Зиневич, А.М. Прогнозирование скорости старения покрытий подземных металлических трубопроводов / А.М. Зиневич. – М.: ЦНТИ Мингазпрома, 1966. – 89 с.

8. Вэй, Б. Экспериментальное исследование снижения переходного сопротивления изоляционных покрытий / Вэй Бэй, Ф.М. Мустафин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 2. – С.159-169.

9. Вэй, Б. Экспериментальные исследования изменения переходного сопротивления защитных покрытий трубопроводов / Вэй Бэй, Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков // Нефтегазовое дело [Электронный ресурс]: Электрон.журн. – 2015. – № 2. – С. 156-178. – Режим доступа: http://ogbus.ru/issues/2_2015/ogbus_2_2015_p156-78_WeiBei_ru_en.pdf

10. ГОСТ Р 58094-2018 Системы газораспределительные. Сети газораспределения. Определение продолжительности эксплуатации стальных наружных газопроводов при проектировании. – М.: Стандартинформ, 2018. – 19 с.

11. Новоселов, В.Ф. Типовые расчеты противокоррозионной защиты металлических сооружений нефтегазопроводов и нефтебаз / В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, В.Н. Димитров. – Уфа: Изд. Уфим. нефт. ин-та, 1989. – 98 с.

УДК 621.6

Короткий Виталий Николаевич,
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ
Паньковская Анна Владимировна;
магистрант гр. ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Звягина Виктория Сергеевна,
магистрант гр. ЗТГВм-53а каф. ТТГВ;
Удовиченко Злата Викторовна,
кандидат технических наук, доцент каф.ТТГВ,
ФГБОУ ВО«ДОННАСА»

ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Многолетний опыт эксплуатации газотранспортной системы показывает, что наиболее крупные аварии с тяжелыми последствиями происходят из-за несвоевременного обнаружения и устранения утечек газа в подземных газопроводах.

Актуальным является вопрос моделирования и прогнозирования показателей надежности транспортировки природного газа. В настоящее время доказано, что основной проблемой, приводящей к снижению надежности газотранспортного процесса, является значительный износ основных фондов, что требует вложения значительных финансовых ресурсов в газотранспортную систему (ГТС). В статье обосновывается возможность повышения надежность эксплуатации линейной части магистральных газопроводов (ЛЧМГП) за счет качественной системы ремонтов и модернизации оборудования. Основным фактором, позволяющим снизить количество аварий, является своевременное обнаружение повреждений на газопроводах и их прогнозирование. Установлено, что интенсивность отказов зависит от диаметра и количества ниток газопровода. В работе предлагается провести комплексную диагностику процесса надежности газопроводов в совокупности с их технико-экономическими показателями на основе разработки системы мер по повышению безопасности газопроводов.

Ключевые слова: надежность, затраты, моделирование, аварии, экономические выгоды, отказы, прогнозирование, безопасность.

Введение

Важнейшей задачей системы энергетической безопасности страны является обеспечение надежности внутренней газотранспортной системы. Поддерживать состояние ее элементов и предотвращать их преждевременный износ технически сложно и дорого. Основными причинами значительных затрат на ремонт газопроводной системы и их резкого увеличения в последние годы являются: увеличение среднего эксплуатационного возраста газотранспортных линий, строительство в районах со сложными инженерно-геологическими условиями. Эти обстоятельства подчеркивают большую актуальность и важность изучения не только технического аспекта проблемы, но и экономических проблем, связанных с обслуживанием магистральных газопроводов.

Недостаток финансовых ресурсов предприятий приводит к поиску альтернативных вариантов решения проблемы. Одним из таких вариантов является моделирование и прогнозирование показателей надежности эксплуатации газопроводов [1,2].

Основная часть

Повышение уровня зависимости социально-экономического развития от поставок энергетических ресурсов свидетельствует о необходимости совершенствования научных основ энергетической безопасности газотранспортных систем. Данная проблема является относительно новой, поэтому многие ученые и практики уделяют все больше внимания

изучению вопросов, связанных с прогнозированием показателей надежности газопроводов в контексте энергетической безопасности стран.

Надежность газотранспортных линий, как и любого технического объекта, определяется способностью выполнять заданные функции, сохраняя характеристики с течением времени. Однако, являясь комплексной характеристикой, в зависимости от назначения и условий эксплуатации, надежность может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность или определенное сочетание этих характеристик.

Характерными признаками надежности являются: фактор времени как изменение исходных параметров в процессе эксплуатации оборудования, прогнозируемое поведение объекта, при котором сохраняются его исходные параметры (показатели качества).

Надежность системы газоснабжения, ее подсистем и объектов зависит от многих факторов, среди которых можно выделить следующие:

– уровень надежности элементов оборудования, входящего в систему;
– уровень эксплуатации и управления системой;
– состав элементов, входящих в систему, и структура отношений между ними;
– объем и структура запасов газа;
– эффективность управления.

Надежность и технологические характеристики элементов этих систем (среднее время аварийных и плановых ремонтов, время ожидания ремонта, элементы производительности) в значительной степени зависят от качества оборудования и уровня эксплуатации системы. Значения этих параметров ограничиваются уровнем достигнутого научно-технического прогресса и экономической целесообразностью дополнительных затрат на совершенствование технологии. Эти факторы могут изменяться как за счет рационального использования и распределения затрат на создание и развитие, а также затрат на резервы, так и за счет увеличения этих затрат.

При планировании ремонта, модернизации и реконструкции газотранспортных линий важно предотвратить отказы и аварии на газопроводах. Поэтому необходимо уделять наибольшее внимание величине износа оборудования линейной части газопровода. Однако срок службы может быть продлен в результате проведения обследований и диагностики технического состояния газопроводов.

Основные характеристики надежности газотранспортных линий: безотказность, долговечность и ремонтопригодность.

Определено, что газотранспортные линии могут находиться в одном из следующих состояний: под нагрузкой, планово-предупредительный ремонт, вынужденный (аварийный) простой [3].

Устойчивость газотранспортной системы определяется материальной базой, которая включает в себя газоперекачивающую технику и линейную часть магистральных газопроводов.

Определение экономических потерь, вызванных авариями, важно для газотранспортной компании. Экономические риски не подлежат обязательной оценке со стороны надзорных органов. Поэтому допустимые уровни этих рисков не регулируются. Предложена модель оценки экономических рисков, основанная на экономической целесообразности и эффективности дальнейшей эксплуатации газопровода [4].

Основными потерями от отказов газопровода являются стоимость прямых потерь газа Ld, потери во время простоя газопровода Ldt и стоимость ремонта. Сюда также входят потери от возможного повреждения технических сооружений и коммуникаций, пересечения газопровода в месте аварии и социальные затраты, вызванные возможным перемещением людей или восстановлением зданий.

Потери от утечки газа в денежном выражении составляют:

$$Ld = (V1 + V2) \cdot Pg, \quad (1)$$

где V1 - объем газа, выходящего из трубопровода к моменту закрытия кранов;

V2 - объем газа, выходящего из трубопровода после закрытия кранов до момента полного опорожнения трубопровода;

Pg - цена 1 кубического метра газа.

Потери при простое газопровода Ldt:

$$Ldt = Kdn \text{ x } Vd \text{ x } Pg + Pp\ , \qquad (2)$$

где Kdn - время простоя, дни;

Vd - суточный объем транспортировки газа;

Pp - штрафные санкции в соответствии с договором.

Стоимость ремонта зависит от типа поломки, количества задействованного оборудования, доступности объекта и вида ремонта.

Потери от возможного повреждения технических средств и коммуникаций включают в себя сумму компенсации за ремонт или убытки, понесенные владельцем трубопровода, если эти объекты находятся на его балансе.

Социальные потери связаны с возможным перемещением людей или восстановлением социальных объектов, пострадавших в результате аварии. Экономические социальные потери оцениваются, если возникает угроза социальным объектам, граничащим или находящимся в природных зонах действия затронутых магистральных газопроводов. Величина этих потерь зависит от типа аварии и расстояния до социального объекта. В случае применения страховых полисов общий ущерб может быть уменьшен на сумму страховых выплат.

Таким образом, определив экономические потери по отдельным компонентам, газовые транспортные компании смогут определить порядок проведения предупредительных технико-экономических мероприятий для минимизации затрат.

Наибольшее количество аварий на газотранспортных линиях происходит из-за дефектов металла труб, а также из-за нарушений правил эксплуатации газотранспортных систем, возникающих в результате некачественной сварки. Многие аварии происходят из-за температурной деформации газового трубопровода.

Интенсивность отказов газопроводов показывает показатель λ(t) [4].

$$\lambda(t) = \frac{n}{\Delta t n(t) L}, \qquad (3)$$

где n - количество отказов во время Δt по всей длине трубопровода;

n(t) - количество безотказных элементов к моменту времени t;

L - длина трубопровода.

Для магистральных газопроводов эта величина приводится в зависимости от диаметра как отношение количества дней аварийного состояния ко всему периоду эксплуатации (год). Интенсивность отказов также зависит от количества линий и диаметра трубопровода.

Аварии и отказы на газотранспортных линиях являются дискретными величинами, которые независимыми друг от друга, что позволяет прогнозировать эти показатели с помощью статистического и математического аппарата. Определено, что статистика по отказам линейной части газопроводов вполне соответствует экспоненциальной функции распределения вероятности.

При увеличении диаметра увеличение λ может быть объяснено следующими причинами:

– при увеличении веса труб погрузочно-разгрузочные работы становятся более сложными, что повышает вероятность повреждения труб во время таких операций;

– соединение труб при сварке при увеличении диаметра усложняется даже при соблюдении технических условий. Радиус изгиба трубопровода увеличивается с увеличением диаметра, что иногда вызывает трудности при прокладке трубопроводов в траншее на поворотах трассы и приводит к появлению повышенных напряжений;

– температурный режим газопроводов большого диаметра во время эксплуатации имеет большее влияние, чем температурный режим газопроводов малого диаметра, что может привести к тепловым деформациям.

Следующим важным показателем надежной работы газопровода является коэффициент восстановления, который представляет собой обратную величину среднему времени восстановления.

Время ликвидации зависит от характера аварии, времени года, состояния трассы газопровода, расстояния между местом аварии и аварийно-ремонтной станцией, оснащенности аварийной бригады транспортом, машинами и механизмами, а также от квалификации персонала, задействованного в процессе воспроизводства. Время на ремонт газопровода одного и того же диаметра варьируется в широких пределах.

Предотвращение отказов возможно в результате качественного ремонтного обслуживания (работ по замене или ремонту газопровода, значение параметра которого приблизилось к пределу), что требует финансовых вложений и высококвалифицированного персонала.

Для того чтобы спрогнозировать дальнейшее развитие дефектных участков газопровода к моменту возникновения аварийной ситуации, необходимо учитывать величину потерь в момент ее фактического возникновения.

Для улучшения показателей надежности функционирования газотранспортной системы в контексте энергетической безопасности, предлагается внедрить следующее [5]:

1. Систему технических и технологических мероприятий:

─ модернизация и замена трубопроводов;

─ улучшение антикоррозийной защиты.

Данные мероприятия позволят предотвратить аварийные ситуации на линейной части газопроводов, повысить их устойчивость к неблагоприятным природно-климатическим условиям, а также снизить загрязнение газа при транспортировке (предотвращение ухудшения параметров качества) и утечек газа. Все это приведет к оптимизации работы системы в целом, а также к снижению потерь ТЭР, а значит, и общих затрат предприятия.

2. Внедрение новых энергоэффективных двигателей. Большая часть двигателей, приводящих в движение компрессорные станции (далее КС), составляют газотурбинные двигатели, коэффициент полезного действия (КПД) которых очень низок и не достигает даже 25%, поэтому необходима их замена на более энергоэффективные двигатели (КПД которых выше).

3. Снижение потерь энергии, связанных с изменением нагрузки газопроводов и достигаемое за счет повышения уровня автоматического контроля и регулирования работы КС, а также за счет внедрения автоматизированных систем включения и отключения газоперекачивающего агрегата (ГПА).

Необходимой предпосылкой для реализации вышеуказанных мероприятий является выполнение ряда социально-экономических задач, результаты которых лягут в основу для их реализации. В частности, для контроля отклонений ТЭР от норм потребления, необходимо сначала их разработать и установить, поэтому первыми из социально-экономических мероприятий должны быть следующие [6]:

- разработка экономически обоснованных норм удельного расхода ТЭР. Для этого предлагается провести глубокий анализ имеющегося оборудования, изучить технические характеристики, определить оптимальные режимы работы и режимы нагрузки, а также разработать экономически обоснованные нормы расхода ТЭР на основе полученных комплексных знаний;

- внедрение системы стимулирования и персональной ответственности работников. Материальное стимулирование за эффективное использование энергоресурсов, проведение работ по повышению эффективности использования ТЭР, внедрение различных энергосберегающих технологий и т.д. путем премирования работников в пределах установленной доли стоимости сэкономленных ТЭР приведет к материальной заинтересованности каждого работника, так как от их работы будет зависеть экономический результат всего предприятия;

- эффективная и гибкая система управления, способная принимать оперативные управленческие решения по эффективному ведению бизнеса в различных условиях, должна стать сутью работы газотранспортного предприятия в рыночных условиях.

Выводы

Статистические модели для расчета показателей надежности газопроводов позволяют осуществить прогнозирование на основе частичных показателей и вносить коррективы в систему обслуживания газопроводов, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность эксплуатации газопроводов.

Обоснование эффективных управленческих решений и реформ требует точности не только относительной количественной оценки уровня надежности газоснабжения и воздействия отдельных угроз, но и абсолютной и качественной оценки, что позволит смоделировать индивидуальные сценарии мероприятий.

Постоянный мониторинг и использование прогнозируемых параметров состояния газовых трубопроводов даст возможность снизить аварийность на магистральных трубопроводах, сэкономить значительные финансовые ресурсы, получить экономический эффект за счет системы технических, технологических, экономических, социальных и экологических мероприятий. Поскольку на показатели надежности эксплуатации газопроводов влияет значительное количество различных факторов, очень сложно оценить влияние каждого из них по отдельности и в комплексе, поэтому предлагается использовать методы статистического моделирования и прогнозирования. При их использовании можно учесть влияние всех факторов на показатели надежности, от которых зависит функционирование газотранспортной системы.

Список литературы

1. Глаголев, А.И. Долгосрочное прогнозирование газового рынка: опыт сценарного программирования / А.И. Глаголев, С.С. Демин, Ю.Н. Орлов. — М.: Институт энергодиалога “Восток–Запад”, 2003. - 128 с.

2. Бернер, Л.И. Управление газотранспортной сетью с использованием методов моделирования и прогнозирования / Л.И. Бернер, А.А. Ковалев, В.В. Киселев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2013. – № 1. – С. 48–53.

3. Маджитов, З.З. Оценка надежности магистральных газопроводов / З.З. Маджитов, Н.О. Каландаров // Техника. Технологии. Инженерия. — 2017. — № 4 (6). — С. 21-27.

4. Manian, L. Pipeline integrity assessment and management / L. Manian, A. Hodgdon // Materials Performance, 2005. - №44(2). – P.18–22.

5. Zablodska, I. World experience in public administration of the transformation of energy-dependent regions in the context of their sustainable development / I. Zablodska, Y. Akhromkin, A. Akhromkin and others // Problemy Ekorozwoju, 2020. - №15(2). P. 235–244.

6. Ievdokymov, V. Social capital measurement based on “The value explorer” method / V. Ievdokymov, S. Lehenchuk, D. Zakharov and others // Management Science Letters, 2020. - №10(6). – P.1161–1168.

УДК 621.6

Халангот Кирилл Павлович,
магистрант гр. ЗТГВм-53а каф. ТТГВ;
Василевский Олег Сергеевич,
магистрант гр. ЗТГВм-53б каф. ТТГВ;
Удовиченко Злата Викторовна
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ УТЕЧЕК ГАЗА

Утечки газа могут стать причиной серьезных инцидентов, приводящих как к человеческим травмам, так и к финансовым потерям. Чтобы избежать подобных ситуаций, значительные усилия были направлены на разработку надежных методов для обнаружения утечек газа. Поскольку знания о существовании утечки не всегда достаточны для начала корректирующих действий, некоторые из методов обнаружения утечек были разработаны для обеспечения возможности определения местонахождения утечки. Основная цель данной работы - определить современное состояние в области обнаружения и локализации утечек, оценить возможности этих методов, чтобы определить преимущества и недостатки использования каждого из методов обнаружения утечек.

Ключевые слова: утечка газа, обнаружение утечки, локализация утечки, трубопровод

Введение. Мировая сеть транспортировки и распределения природного газа является сложной и постоянно расширяющейся. Согласно исследованию, представленному в [1], трубопроводы, как средство транспортировки, являются самыми безопасными, но это не означает, что они не подвержены риску. Поэтому обеспечение надежности инфраструктуры газопроводов стало критической необходимостью для энергетического сектора. Основной угрозой, рассматриваемой при поиске средств для обеспечения надежности трубопроводной сети, является возникновение утечек.

Независимо от их размера, утечки в трубопроводах вызывают серьезную озабоченность из-за значительных последствий, которые они могут иметь. Эти последствия зачастую связаны с простоем и расходами на ремонт, и могут повлечь за собой травмы людей, а также экологические катастрофы. Основными причинами аварий на газопроводах являются: внешнее вмешательство, коррозия, строительные дефекты, разрушение материала и движение грунта.

Чтобы противостоять катастрофическим последствиям утечек газа, в последние десятилетия были вложены значительные усилия в разработку методов обнаружения утечек газа. Однако выявление наличия утечки газа не является достаточным для того, чтобы определить эффективные меры противодействия. Прежде чем принять решение о наборе корректирующих действий, необходимо знать и другую информацию, такую как: местоположение утечки, ее размер и т.д.

Основная цель данной работы - определить современное состояние методов обнаружения утечек газа и представить возможности локализации, а также другие важные характеристики для каждого из изученных методов.

Классификация методов обнаружения утечек газа.

Для того чтобы решить, какой метод обнаружения утечек больше подходит для конкретной ситуации, необходим сравнительный анализ эффективности методов.

Рассмотрим несколько критериев для классификации, некоторые из которых: объем необходимого вмешательства человека, измеряемая физическая величина и технический характер методов.

Если степень вмешательства человека, необходимого для каждого метода обнаружения, выбрана для классификации этих методов, то выделяется три категории:

- автоматическое обнаружение - комплексные системы мониторинга, которые могут сообщить об обнаружении утечки газа без участия человека после их установки (например, оптоволоконные или кабельные датчики);
- полуавтоматическое обнаружение - решения, которым требуется определенный вклад или помощь в выполнении некоторых задач (например, статистические методы или методы цифровой обработки сигналов);
- ручное обнаружение - системы и устройства, которыми может непосредственно управлять только человек (например, тепловизоры или устройства LIDAR).

Большинство методов обнаружения основаны на измерении определенной физической величины или проявлении определенного физического явления. Это можно использовать как правило для классификации, поскольку существует несколько общих используемых физических параметров и явлений: акустика, скорость, давление, отбор проб газа, оптика и иногда сочетание этих параметров.

Некоторые авторы разделяют технологии на две большие категории - прямые и косвенные или инференциальные методы [2,3]. Прямое обнаружение осуществляется путем патрулирования вдоль трубопроводов с использованием либо визуального осмотра, либо ручных устройств для измерения газовых утечек. Благодаря техническому прогрессу в настоящее время принято использовать оптические устройства визуализации, установленные на вертолетах или самолетах, особенно для очень протяженных трубопроводов [3]. Косвенные или инференциальные методы обнаруживают утечки путем измерения изменения определенных параметров трубопровода, таких как скорость газа и давление. Наиболее распространенный способ классификации методов обнаружения утечек основан на их технической природе (Рисунок 1).

Рисунок 1 – Классификация методов обнаружения утечек газа в трубопроводах

Таким образом, можно выделить две основные категории методов: методы, основанные на аппаратном обеспечении и методы, основанные на программном обеспечении. Эти две категории иногда называют внешними или внутренними системами обнаружения утечек [4].

Часто в литературе косвенные или инференциальные методы пересекаются с методами, основанными на программном обеспечении, в то время как прямые методы охватывают как аппаратные, так и нетехнические методы.

Нетехнические методы обнаружения утечек - это те, которые не используют никаких устройств и полагаются только на естественные органы чувств (т.е. слух, обоняние и зрение) человека и/или животных.

Аппаратные методы основаны в основном на использовании специальных сенсорных устройств для обнаружения утечек газа.

В зависимости от типа датчиков и оборудования, используемых для обнаружения, эти аппаратные методы классифицируются следующим образом: акустические, оптические, кабельные датчики, мониторинг почвы, ультразвуковые измерительные приборы и отбор проб паров.

Программные методы, как следует из названия, имеют в своей основе программное обеспечение. Реализованные алгоритмы непрерывно отслеживают состояние давления, температуры, скорости потока или других параметров трубопровода и, на основании изменения этих параметров, можно сделать вывод о наличии утечки. Программные методы могут использовать различные подходы для обнаружения утечек: баланс массы/объема, моделирование переходных процессов в реальном времени, акустическая/отрицательная волны давления, анализ точек давления, статистика или цифровая обработка сигналов.

Нетехнические методы включают в себя патрулирование персоналом вдоль трубопроводов в поисках визуальных признаков утечки газа, обоняния веществ, которые могут выделяться в результате утечки, или прослушивания специфических звуков.

Проверка мыльных пузырей, которая является недорогим методом для обнаружения небольших утечек [3], также может быть включена в категорию также можно отнести к этой категории. Он включает в себя распыление мыльного раствора на различные компоненты трубопровода или на подозрительные поверхности на трубе. Обычно мыльный скрининг применяется в основном к клапанам и соединениям трубопровода, так как это места, подверженные утечкам газа. Этот метод является быстрым и имеет небольшую стоимость, поэтому он может быть полезен в качестве части процедур рутинной проверки.

Преимущество этого метода заключается в том, что он не требует специального оборудования, а также в том, что он приводит к немедленной локализации утечки при обнаружении. Недостатком этого метода является то, что время обнаружения утечки зависит от частоты проведения таких проверок.

Обнаружение утечки в значительной степени зависит от опыта и тщательности нанятого персонала, соответственно этот метод может быть применен только к трубопроводам, доступным к осмотру персоналом.

Аппаратные методы.

Акустические методы основываются на способности движущегося газа генерировать акустический сигнал, проходя через отверстие в трубе. Таким образом, этот сигнал может быть использован для определения утечки. Для регистрации внутреннего шума трубопровода используются акустические датчики. Они могут быть встроены в портативные устройства обнаружения, используемые персоналом, патрулирующим трубопровод, или в интеллектуальные скребки, которые перемещаются по трубопроводу.

Непрерывный мониторинг также осуществляется путем установки акустических датчиков снаружи трубопровода на определенном расстоянии друг от друга. Размещение датчиков на слишком большом расстоянии друг от друг от друга увеличит риск необнаруженных утечек, в то время как установка их слишком близко приведет к увеличению стоимости системы. Для обнаружения звуков, издаваемых при утечке газа, используются несколько типов датчиков. Они варьируются от акустических датчиков и акселерометров до микрофонов и динамических преобразователей давления.

Что касается преимуществ использования данного метода, то можно отметить непрерывный режим работы и возможность автоматизации системы. Акустические методы также могут помочь в определении местоположения утечки и оценить ее размер. В качестве недостатка системы отмечается то, что высокий фон или шумовые условия могут маскировать

реальный сигнал об утечке (например, шум от проезжающих мимо автомобилей, шум клапанов или насосов).

Оптические методы, используемые для обнаружения утечек, можно разделить на две категории [5]: пассивные и активные. Активные методы требуют освещения сканируемой области с помощью источника излучения, в то время как пассивные методы не требуют источника излучения и полагаются только на фоновое излучение или излучение, испускаемое газом.

К общим преимуществам использования оптических методов относятся их портативность, возможность удаленного обнаружения и определения местоположения утечки.

Распространенным подходом является обследование сетей газопроводов с помощью установленных на самолетах оптических устройств для обнаружения утечек. Полученная карта позволяет получить обзор всей сети и выявляет места существующих утечек быстрее, чем их обнаружил бы наземный патруль с помощью портативных устройств.

Активные методы основываются на поглощении или рассеивании излучения молекулами природного газа. При обнаружении значительного поглощения или рассеивания молекул природного газа над трубопроводом предполагается наличие утечки.

К активным методам оптического обнаружения утечек природного газа относятся: LIDAR (Light Detection and Ranging) [6], поглощение диодного лазера, радарные системы миллиметровых волн, обратное рассеивание, широкополосное поглощение и оптическое волокно.

Пассивные методы. Основное различие между пассивным и активным мониторингом заключается в том, что пассивный мониторинг не требует источника излучения. Это является преимуществом, поскольку отсутствие источника излучения позволяет экономить средства. Однако этот недостаток должен быть компенсирован более производительными и дорогостоящими детекторами. Существует несколько типов пассивных систем обнаружения утечек: тепловизионный, многоспектральная визуализация и корреляционная радиометрия газовых фильтров.

Электрические кабельные датчики также используются для обнаружения утечек газа. В конструкции кабелей используются материалы, которые реагируют при контакте с определенными веществами. Эта реакция изменяет свойства кабеля, такие как сопротивление или емкость, которые можно контролировать, чтобы определить появление утечки.

Некоторые кабели содержат два контура. Один контур подключается к источнику питания, а другой - к сигналу тревоги. Когда эти два контура вступают в контакт, подается сигнал тревоги. Этот метод обнаружения утечки дает достаточно быстрый отклик и является более чувствительным, чем некоторые традиционные методы. Однако стоимость внедрения такой системы довольно высока. Другими заметными недостатками являются сложность установки на существующие трубопроводы и невозможность оценить размер утечки.

Мониторинг почвы включает в себя инокуляцию газопровода определенным количеством трассирующего соединения. Этот трассирующий химикат, неопасный и высоколетучий газ, выходит из трубы точно в месте утечки (если она произошла).

Очень низкий коэффициент ложной тревоги и высокая чувствительность являются одними из преимуществ использования мониторинга почвы для обнаружения утечек. Метод является довольно дорогостоящим, так как химические вещества должны постоянно добавляться в трубу во время процесса обнаружения утечек.

Метод отбора проб паров углеводородов в непосредственной близости от трубопровода. Осуществляется метод либо с помощью системы мониторинга паров, которая включает в себя трубку с датчиком, закопанную вдоль трубопровода, либо с помощью мобильных детекторов, переносимых персоналом или установленных на транспортных средствах (дистанционно управляемых аппаратах).

Этот подход может дать лучшие результаты, чем нетехническое обнаружение, особенно для очень маленьких утечек, но его успех в значительной степени зависит от частоты патрулирования.

Ультразвуковые методы. Системы, основанные на ультразвуковых измерительных приборах также могут быть использованы для обнаружения утечек газа.

Эта технология позволяет определить местонахождение утечки с точностью до 150 метров. Еще одним преимуществом является неинтрузивный характер используемых электронных устройств.

Методы, основанные на программном обеспечении.

Баланс массы/объема. Метод обнаружения утечек по балансу массы или объема основан на принципе сохранения массы. Дисбаланс между массой или объемом газа на входе и выходе может показать наличие утечки.

Объем может быть вычислен по показаниям некоторых часто используемых переменных процесса: скорость потока, давление и температура.

Подход, основанный на балансе массы, также использовался в сочетании с вероятностными методами для обнаружения утечек. Однако вероятностные методы требуют значительных вычислительных мощностей.

Эффективность этого метода в основном зависит от размера утечки, частоты проведения замеров и точности измерительных приборов. Его можно легко установить на существующих трубопроводах, поскольку он базируется на контрольно-измерительные приборы, имеющиеся на всех трубопроводах, и его легко освоить и использовать. Относительно низкая стоимость является еще одним преимуществом этого метода.

Моделирование переходных процессов в реальном времени.

Некоторые методы обнаружения утечек работают на модели, построенной с использованием таких уравнений, как: сохранение массы, сохранение импульса, сохранение энергии и уравнение состояния для жидкости. Для определения наличия утечек используется расхождение между измеренным значением и прогнозируемым значением.

Для этого метода необходимы измерения расхода, давления и температуры. Уровни шума и переходные процессы постоянно контролируются, чтобы свести к минимуму ложные тревоги.

Недостатком метода является высокая стоимость, поскольку он требует обширного оборудования для сбора данных в режиме реального времени. Используемые модели сложны и требуют обученного пользователя.

Метод отрицательной волны давления основывается на том, что утечка в трубопроводе связана с резким падением давления в месте утечки, которое распространяется в виде волны как вверх, так и вниз по течению. Эта волна называется разрежением или волной отрицательного давления и может быть зарегистрирована с помощью датчиков давления, установленных на обоих концах каждого сегмента трубопровода.

Системы обнаружения утечек на основе отрицательных волн давления могут оценить размер утечки, при этом, использование волн давления для обнаружения утечек было признано непрактичным для трубопроводов большой протяженности.

Анализ точки давления (PPATM) - это быстрый метод обнаружения утечек, основанный на предположении, что давление внутри трубопровода падает при возникновении утечки. Этот метод требует непрерывного измерения давления в различных точках трубопровода.

Статистический метод - более простой способ обнаружения утечек газа, не требующий математической модели, и заключающийся в использовании статистического анализа, который проводится по измеренным параметрам, таким как давление и скорость в нескольких местах вдоль трубопровода.

Статистические методы могут оценить местоположение утечки. Кроме того, этот метод прост в использовании, надежен и легко адаптируется к различным конфигурациям трубопроводов. К основным недостаткам данного подхода относятся сложность оценки объема утечки и высокая стоимость.

Цифровая обработка сигналов позволяет обнаружить утечки с использованием измерений давления или других параметров трубопровода.

Как и в статистическом подходе, если на этапе настройки утечка в системе уже присутствует, она не будет обнаружена, если только ее размер значительно не увеличится. Более того, помимо высокой стоимости, этот метод обнаружения утечек сложно реализовать, модернизировать и протестировать.

Сравнительный анализ производительности методов обнаружения утечки газа.

Уровень производительности системы обнаружения утечек может быть определен рядом факторов. Для оценки эффективности систем обнаружения утечек используются следующие критерии: способность определить местоположение утечки, скорость обнаружения и способность оценить размер утечки.

Некоторые методы позволяют определить место утечки с высокой точностью, в то время как другие, например, программные методы, могут дать только приблизительное местоположение. В этих случаях необходимо использовать другие методы, такие как патрулирование линии.

Для оценки скорости обнаружения принимается, что системы со временем обнаружения до нескольких минут являются быстрыми, системы, которым требуется до нескольких часов - среднескоростными, а системы с еще большим временем обнаружения - медленными.

Оценка размера утечки доступна в большинстве систем обнаружения. Кабельный датчик, мониторинг почвы, ультразвуковые измерители, анализ точек давления и цифровая обработка сигнала не имеют такой возможности.

Чувствительность также является важным фактором при оценке эффективности системы обнаружения утечек. Однако, это сравнение всех методов с точки зрения чувствительности является непростой задачей, так как сообщаемые значения не всегда сопоставимы с использованием одного и того же подхода [7,8].

Выводы.

Для газопроводов существует широкий спектр методов обнаружения утечек. Некоторые методы были усовершенствованы с момента их первого предложения, а некоторые новые были разработаны в результате прогресса в производстве датчиков и вычислительной мощности. Тем не менее, каждый метод обнаружения имеет свои преимущества и недостатками. Например, все внешние методы, которые предполагают обнаружение утечки снаружи трубопровода с помощью визуального наблюдения или портативных детекторов, способны обнаружить место утечки, но время обнаружения очень велико.

Методы, основанные на математической модели трубопровода, имеют хорошие результаты при высокой скорости течения газа. При рассмотрении затрат при использовании каждой системы обнаружения выявлено, что большинство доступных методов являются дорогостоящими.

Объединение нескольких систем обнаружения утечек является обычной практикой, а также рекомендацией, чтобы справиться с указанными недостатками. Гибридные системы выигрывают от возможности обнаружения утечки в реальном времени, предоставляемой программным методом, и высокой точностью локализации, предоставляемой аппаратным методом. Выбор из широкого спектра доступных коммерческих решений - это действие, которое должно быть предпринято после оценки потребностей исследуемой системы.

Список литературы

1. Transmission Pipelines and Land Use: A Risk-Informed Approach / Transportation Research Board // National Academies Press, 2004. – P. 140.

2. Folga, S. Natural Gas Pipeline Technology / S. Folga, D.Decision // Collection of open reports in transport research (2007). - Argonne National Laboratory. – Vol.2007,12. – P.55.

3. Liu, A. E. Overview: Pipeline Accounting and Leak Detection by Mass Balance, Theory and Hardware Implementation / Arnold E.Liu. – Quantum Dynamics, Inc., 2008. – P.14.

4. Geiger, G. Leak detection and locating-a survey / G. Geiger, T. Werner, D. Matko // PSIG Annual Meeting. – P.11.

5. Reichardt, T. Evaluation of active and passive gas imagers for transmission pipeline remote leak detection // T. Reichardt, S. Devdas, T. Kulp, W. Einfeld // Final Report. - Sandia National Laboratories. – Vol.2002, 12. – P.32.

6. Minato, A. Development of a lidar system for measuring methane using a gas correlation method / A. Minato, M. Joarder, S. Ozawa, M. Kadoya, N. Sugimoto / Japanese Journal of Applied Physics. - 38(10). – P.6130-6132.

7. Чупин, В.Р. Методы обнаружения утечек газа из магистральных трубопроводов / В.Р. Чупин, Е.В. Гаськов, Д.И. Майзель // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. - №2(3). – С. 123-127.

8. Лебедь, А.Д. Обоснование выбора способов контроля утечек на газопроводе / А.Д. Лебедь, С.П. Глушко // Вестник Донского государственного технического университета. 2019. Т.19, №3. – С.250-255.

УДК 614.841

Дикусар Вадим Михайлович,
Институт гражданской защиты
ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный
университет имени Владимира Даля»;
Научный руководитель ,
к.т.н., доцент Красногрудов А.В.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ В НЕЖИЛЫХ ОБЪЕКТАХ

В статье анализируются основные факторы возникновения пожаров на объектах хозяйственной деятельности предприятий. На основании статистического анализа установлены основные причины пожаров в нежилых объектах – нарушение правил эксплуатации электрооборудования. Сделан вывод о необходимости привлечения в качестве консультантов при проведении проверок объектов хозяйственной деятельности помимо пожарного надзора соответствующие уполномоченные государственные службы для осуществление контроля в пределах своих полномочий по безопасности функционирования объектов.

Ключевые слова: государственный пожарный надзор, предупреждение пожара, нежилые помещения, нарушение использования электросетей, энергонадзор

Введение. Актуальность темы.

Анализ причин возникновения пожаров всегда являются актуальными в любом государстве и в любом обществе. Пожары как одно из социальных явлений заставляют принимать государством огромные усилия в их предотвращении и ликвидации последствий.

Пожары наносят огромный материальный ущерб, и самое главное, приводят к человеческим жертвам.

Особенно это ощутимо в то время, когда идет становление нашей молодой республики. Нехватка денежных средств, техники, материалов и оборудования, а также специалистов, которые в кратчайшие сроки способны принять необходимые решения и меры к ликвидации последствий и восстановления нанесенного ущерба [3]. Сама собой вытекает необходимость выявления причин возникновения пожара и как следствие его недопущения.

Одним наиболее эффективным направлением предупреждения пожара и устранения факторов, способствующих его возникновению, является установления наиболее вероятных причин, которые могут привести к пожару.

Изложение основного материала.

Согласно статистических данных ЛНР [3, 5] за период 2019-2021 г.г. на территории ЛНР и ликвидировано 8167 пожаров, 6150 из них – в экосистеме, в то время как в 2019 году было зафиксировано всего 2772 пожара. Из огня было спасено более ста человеческих жизней, сохранено материальных ценностей на сумму более 247 млн. руб.

Самое большое количество произошло:

- в зданиях и сооружениях не жилого назначения (30%);
- на транспорте 3,8%;
- на прочих объектах 0,5 %.

Статистика пожаров в Ростовской области.

На территории области с начала текущего года зарегистрировано 839 пожаров, что ниже показателя прошлого года на 41,3 %.

Основными причинами пожаров в Ростовской области явились:

- неосторожное обращение с огнем – 353 пожаров или 42,1% от общего количества пожаров;
- нарушение правил эксплуатации электрооборудования – 204 или 24,3%;
- поджоги – 52 или 6,2%;
- нарушение правил устройства и эксплуатации печей – 76 или 9,1%.

При пожарах погибли 56 человек, в том числе 1 ребенок, травмированы – 50 человек, спасено людей – 666.

Статистика пожаров в Волгоградской области.

390 пожаров произошли в жилом секторе, что составляет 48,1% от общего количества возгораний. Там же зафиксировано наибольшее количество погибших (30 человек) и получивших травмы во время пожара (31 человек).

Основными причинами возгораний стали [2, 4]:

- неосторожное обращение с огнем – 45,4% (368 пожаров);
- нарушения правил эксплуатации электрооборудования и бытовых приборов – 19,1% (155 пожаров);
- неисправность печного отопления – 18,2% (148 пожаров);
- поджоги – 11,6% (94 пожара);
- неисправность транспортных средств – 2% (17 пожаров);
-иные причины – 3,4% (28 пожаров).

Главной причиной возникновения пожаров в ЛНР названа – неосторожное обращение с огнем, им вызвано 51% от общего количества.

Второй, по значимости причиной, является причина нарушения правил эксплуатации электрооборудования (15-25%, в период с 2019 по 2021 г.г.) [3].

Более половины всех пожаров приходится на городскую местность, причиной 20% из них является неисправность электропроводки или неправильная эксплуатация электросети, которая используется в нежилых и промышленных объектах (офисы, склады, базы, торгово-равлекательные комплексы, торговые точки) [3].

Возникновение пожаров происходит по следующим причинам:

– подключение к одному источнику одновременно нескольких потребителей электроэнергии;

– короткое замыкание при соединении двух проводников накоротко друг с другом. В следствии этого происходит резкое возрастание силы тока в сети, мгновенный нагрев проводников до температуры плавления металлических жил, а также происходит интенсивное искрение и выделение большого количества тепла;

– неправильное соединение проводов (скрутка алюминиевого и медного проводов) что приводит к слабому скреплению или сильному окислению мест соединения проводов, в результате чего происходит их сильный разогрев и воспламенение [2, 4].

Подавляющее большинство нарушений связано с тем, что объекты в республике на которых монтировалась электросеть построены более 50 лет назад. Их расчетная проводимость не рассчитана на такую нагрузку в сети, которая увеличилась за счет увеличения мощности и количества современных изделий, агрегатов потребляющих электроэнергию. Если ранее на складах, в административных зданиях предприятий и организаций использовались лишь небольшие по потребляемой мощности электрические потребители: электролампочки, калькуляторы, радиоаппаратура, сигнализация и т.д., то в настоящее время количество устройств и приборов, потребляющих электроэнергию выросли в разы.

К примеру, на складских помещениях увеличение количества потребителей электроэнергии увеличилось за счет обслуживающего персонала и применения им оргтехники (системные блоки, факсы, мониторы, принтеры, кондиционеры, микроволновые печи и т.д.), которые используются в своей деятельности, а так же оборудования для длительного сохранения продукции хранящейся на этих складских помещениях.

Сюда можем отнести: холодильные установки, оборудование облегчающее физический труд работников (небольшие линии по перемещению грузов и т.п.).

Так же к потребителям электроэнергии в складских и административных помещениях можно отнести электроприборы для обеспечения жизнедеятельности работников – установления обогревательных устройств в помещениях, зачастую полукустарного производства, которые устанавливаются по причине или в результате отказа от дорогостоящих услуг Теплокоммунэнерго), установление бойлеров для нагрева воды, кондиционеров, вентиляции, систем обеспечения безопасности. Аналогичная ситуация складывается и с торгово-развлекательными комплексами.

В торгово-развлекательных комплексах причина возникновения пожаров так же связана с нарушением эксплуатации электропроводки и электроприборов. К тому же большинство комплексов размещены в помещениях, которые ранее были предназначены для иных целей, а с вводом этих объектов в эксплуатацию как ТРК использование электроприборов потребляющих большое количество электроэнергии возросло (использование цветомузыкальных устройств, аудио- и видео-аппаратуры, аппараты создающие спецэффекты и т.д.), [4].

Подключение указанных выше приборов и агрегатов электропотребления запитываются с увеличением необходимости в их использовании последовательно от старой (первоначальной) проводки к новой, а в дальнейшем осуществляется подключение по мере необходимости использования других электроприборов от казалось бы новой, надежной – вновь проложенной электросети, забывая о том, что старые электрощиты и проводка исходящая из них, первоначально не рассчитывалась на такие нагрузки и количества потребителей электроэнергии. Так же необходимо отметить, что подавляющее большинство административных зданий, офисов, складов, баз с начало 90-х годов в связи с «развалом» Советского Союза поменяли своих собственников, продавались, сдавались в аренду, меняли цели использования.

Новые владельцы (арендаторы) преследуя получения максимального дохода, а арендаторы не являясь собственником помещения, не сильно заботятся о затратах на техническое переоборудование электросети. Ведь до этого электрощиты и проводка работали исправно, и поэтому как бы нет причин для волнения. К тому же на «крайний случай», – проще заплатить штраф в 5000 рублей, чем потратить на техническое переоборудование 50000 рублей, к тому же это помещение занимается временно.

Зачастую, арендатор, да и владельцы помещений, если все-таки идут на замену старой проводки для увеличения точек подключения к электросети, на этапе монтажа новой электропроводки не предусматривают запас износостойкости по сечению электропроводки. С целью экономии средств используют более дешевые электропроводимые материалы, которые не соответствуют требованиям эксплуатации. Устанавливаются электроавтоматические выключатели с завышенными номиналами, что бы не возникало внезапного перебоя, хотя автомат в случае необходимости должен обесточить перегруженную сеть. Так же не учитывается максимально допустимый для провода проводимый ток – для каждого сечения и марки он свой.

Из вышеизложенного следует, что причина пожаров в нежилых помещениях в подавляющем большинстве возникает из-за: нарушений правил эксплуатации электросети;

нарушение правил использования электроприборов; физического и морального старения электропроводки.

Физическое старение наступает в результате длительной эксплуатации электропроводки и электрощитов без надлежащего технического обслуживания. **Моральное** связано с техническим прогрессом, в результате которого значительно вырастает количество потребителей электроэнергии и их мощность [2].

Причиной возгорания проводки, практически всегда, становится:

1. Плохой контакт – повышенное сопротивление в месте соединения проводов, в результате окисления проводов или механического ослабления их сжима. При протекании тока через сопротивление всегда выделяется тепло. Когда значения тока и сопротивления велики – выделяются энергии, которые способны нагреть провод и всё что его окружает до температуры возгорания.

2. Автоматические выключатели с завышенными номиналами не срабатывающие при перегрузке электроцепи. При максимально допустимом для провода токе (для каждого сечения и марки они свои) автомат должен сработать, обесточив перегруженную цепь.

3. Также следует отметить, что даже незначительное термическое воздействие на изоляцию приводит к постепенному ее разрушению. А при достижении определенного уровня температуры, диэлектрические свойства существенно понижаются из-за ионизации включений в изоляцию. Поэтому может возникнуть ток утечки, оплавление и последующее возгорание. Что следует учитывать при одновременном включении нескольких мощных устройств [2].

С целью недопущения ситуаций, при которых происходят пожары по указанным выше причинам проводятся проверки объектов, на которых осуществляется деятельность граждан и субъектов хозяйствования. В Луганской Народной Республике эти проверки возлагаются на ГПН ЛНР.

В Постановлении Совета Министров ЛНР от 27.12.2016 №735 «Об утверждении порядка осуществления государственного пожарного надзора» (Далее - Порядок) согласно п. 1.4, структурами МЧС ЛНР пожарный надзор в ЛНР осуществляют должностные лица органов государственного пожарного надзора (ГПН) путем проведения плановых и внеплановых проверок деятельности субъектов хозяйствований, состояния используемых (эксплуатируемых) ими объектов защиты, а также систематического наблюдения за исполнением требований пожарной безопасности, анализа и прогнозирования состояния исполнения указанных требований при осуществлении субъектами хозяйствования и гражданами своей деятельности [1].

В п. 1.5. Порядка органы ГПН принимают меры по пресечению и устранению выявленных нарушений требований пожарной безопасности, установленных законодательством Луганской Народной Республики.

В разделе 4 Порядка определено осуществление государственного надзора. Однако, как правило, проверки сводятся к тому, что должностные лица ГПН проверяют наличие или отсутствие средств пожаротушения, их исправность, выясняют, проводятся ли инструктажи по пожарной безопасности, учения по пожаротушению, принимаются ли меры по предотвращению пожаров (наличие мест для курения, источников возникновения или использования открытого огня, вентиляции, сроков чистки дымоходов и т.д.). Проверки проводятся без привлечения других служб, организаций по государственному надзору по обеспечению безопасного функционирования предприятий [1].

Это приводит к упущению ряда важнейших факторов способствующих к возникновению пожаров, установлению не полной картины пожаробезопасности на предприятии.

Вывод.

В связи с вышеизложенным считаем целесообразным внести в действующее в ЛНР Положение «Порядок осуществления государственного пожарного надзора» пункты или раздел в которых бы оговаривался порядок проведения проверок субъектов хозяйственной деятельности с привлечением специалистов Энергонадзора и других контролирующих и

уполномоченных государством структур.

Представители Энергонадзора ЛНР во время совместных проверок с должностными лицами ГПН ЛНР оказывали бы им консультации по вопросам электротехнической безопасной эксплуатации электрооборудования и агрегатов, а так же по техническому состоянию электросети, установленной на предприятии в соответствии с требованием соответствующих нормативных документов по защите объектов от возникновения чрезвычайных ситуаций.

Это необходимо для того, что бы совместными действиями во время проверки в области пожарной безопасности и безопасного использования электроэнергии, используя знания специалистов указанных служб, выявлять нарушения правил пожарной безопасности на проверяемых предприятиях, а так же давать квалифицированные рекомендации по их устранению, согласно абзаца 7, пункта 4.1 Порядка [1].

Список литературы

1. Постановление Совета министров ЛНР от 27 декабря 2016 года № 735 «Об утверждении порядка осуществления государственного пожарного надзора». Режим доступа: https://sovminlnr.ru/akt/29.12.2016/735.pdf.

2. Электротехника / Под ред. Проф. А.Я. Шихина. Изд. 2. Стереотип. М.: Высш, шк., 1991. – 336 с.

3. Электронный ресурс. – Режим доступа: https://mchs-lnr.su/

4. Электронный ресурс. – Режим доступа: electric63.ru

5. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.ng.by/ru/issues?art_id=70636

УДК 697.97

Долгов Николай Викторович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Кислов Дмитрий Анатольевич,
магистрант гр. ЗТГВм-53б каф. ТТГВ;
Проничева Юлия Александровна,
магистрант гр. ЗТГВм-53б каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Низкой энергоэффективностью характеризуются производство и передача тепловой энергии. По эксплуатационным данным перерасход топлива на производство электроэнергии составляет 10-15%, на теплоснабжение – 15-20%. Затраты на внедрение энергосбережения примерно в 5 раз ниже, чем на создание новых источников энергии [1]. Сложной задачей является определение тепловых потерь, персонифицировать которые из-за разветвленности тепловых распределительных сетей, количества котельных и насосно-перекачивающих и дроссельных станций, нерациональной конфигурации внутридомовых сетей теплоснабжения непросто. В связи с этим, необходимость создания и внедрения современных информационно-управляющих систем для теплоснабжающих комплексов.

Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование, отопление, тепловой режим, влагосодержание, ограждающие конструкции.

Система автоматики системы вентиляции построена на базе промышленного программируемого логического контроллера ПЛК160 и панели оператора СП270-Т фирмы ОВЕН. Система в автоматическом режиме отслеживает температуру на улице и в помещении. С помощью регулирующих заслонок и частотных приводов происходит регулирование подачи и смешивания воздуха системы вентиляции.

Программируемый логический контроллер (ПЛК) представляет собой промышленный цифровой компьютер, адаптированный для управления производственными процессами, такими как сборочные линии или роботизированные устройства, или любой вид деятельности, требующий высокого контроля надежности, простоту программирования и диагностику неисправностей процесса [1].

Таким образом, для обеспечения полного управления и принятия решений используется система автоматики, построенная на базе промышленного контроллера ПЛК160 фирмы ОВЕН (рисунок 1).

Программируемые логические контроллеры ОВЕН ПЛК160 выполнены в полном соответствии со стандартом ГОСТ Р 51840-2001 (IEC 61131-2), что обеспечивает высокую аппаратную надежность.

В контроллере изначально заложены мощные вычислительные ресурсы при отсутствии операционной системы: − высокопроизводительный процессор RISC архитектуры ARM9, с частотой 200 МГц компании Atmel; − большой объем оперативной памяти - 8МБ; − большой объем постоянной памяти (Flash-память), 4МБ; − объем энергонезависимой памяти, для хранения значений переменных - до 16КБ; − время цикла по умолчанию составляет 1мс при 50 логических операциях, при отсутствии сетевого обмена.

Рисунок 1 – Внешний контроллера ПЛК160

Имеется возможность подключения ПЛК160 к персональном компьютеру (ПК) через порт USB и канал Ethernet.

Программирование ПЛК производится с использованием следующего программного обеспечения (ПО): − Windows XP/Vista/7: ОС, установленная на ПК и необходимая для инсталляции, запуска и выполнения ПО CoDeSys; − CoDeSys (Controller Development System): среда программирования, работающая на ПК и применяемая при подготовке пользовательских программ ПЛК [2, 3]. Рекомендуемая версия ПО – 2.3.9.9 рисунок 2; − файл настроек целевой платформы (target-файл), соответствующий используемому контроллеру.

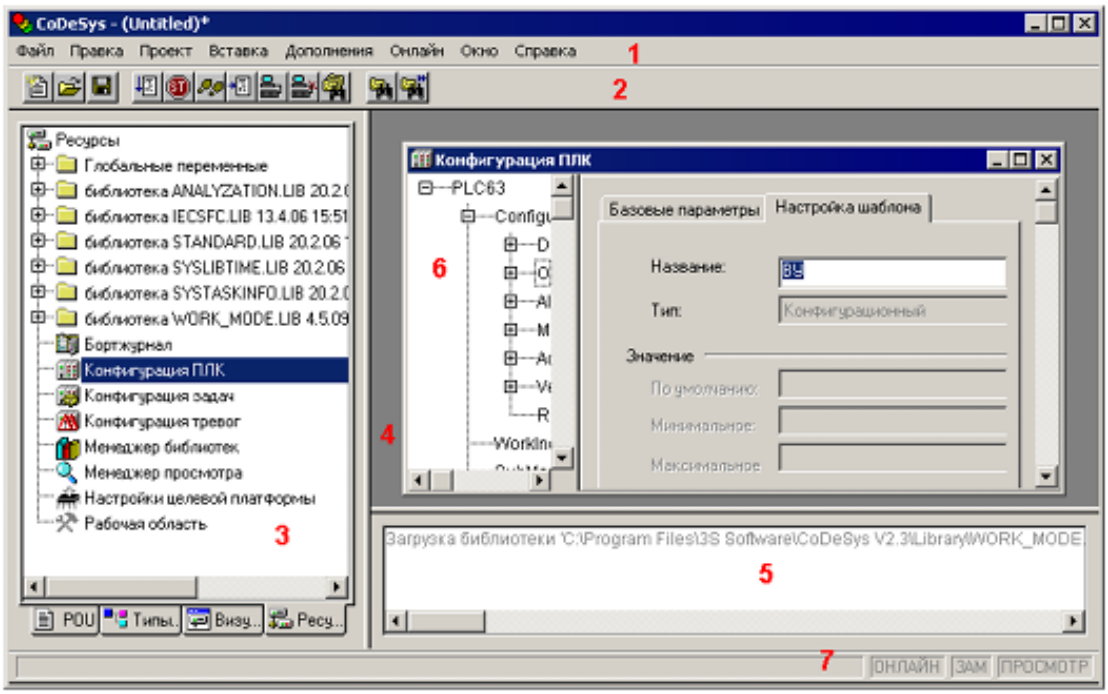


Рисунок 2 - Главное окно среды программирования CoDeSys

Для обеспечения связи среды CoDeSys с внешней базой данных (БД) используется инжиниринговый интерфейс ENI (Engineering Interface), организованный в архитектуре «клиент-сервер».

Во внешней БД хранятся данные, используемые в процессе проектирования и реализации практических задач автоматизации.

Применение внешней БД обеспечивает целостность и обмен данными между

различными пользователями и приложениями рисунок 3.

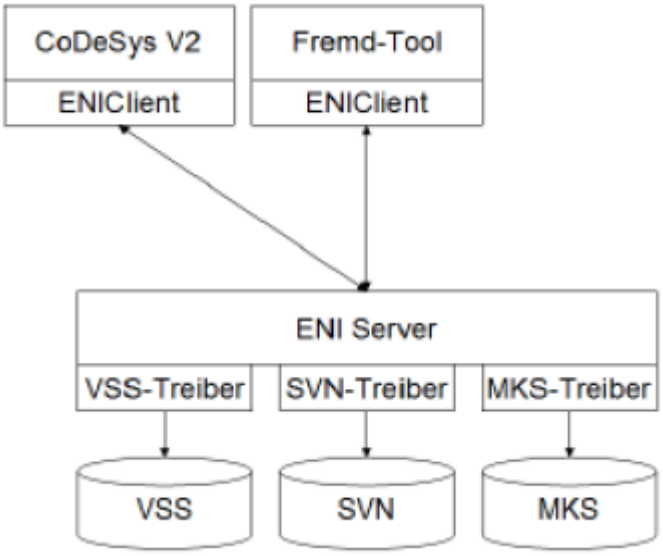


Рисунок 3 – Интеграция ENI с внешними БД

CoDeSys обеспечивает передачу данных другим Windows-приложениям с помощью механизма DDE.

Для разработки ПО для контроллера ПЛК160 в среде CoDeSys используется язык программирования IL рисунок 4 [3, 4].

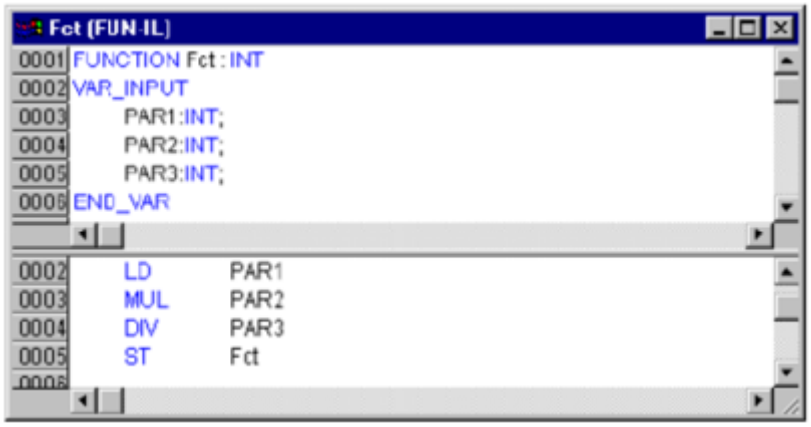


Рисунок 4 – Пример функции, написанной на языке IL

Instruction List (IL) является одним из 5 языков, поддерживаемых стандартом IEC 61131-3, и предназначен для программируемых логических контроллеров.

IL - это язык низкого уровня, напоминающий ассемблер. По синтаксису языка похож на язык Паскаль.

Переменные и вызов функции определяются общими элементами, поэтому различные языки могут использоваться в одном программе.

Структурная схема АСУ вентиляцией авторемонтного предприятия представлена на рисунке 5.

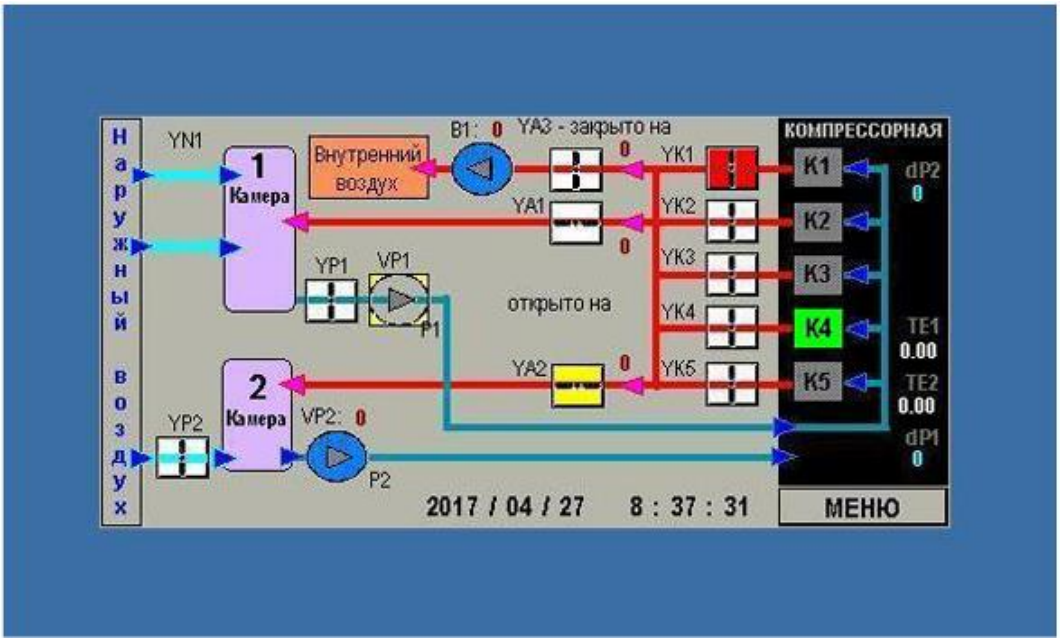


Рисунок 5 - Структурная схема АСУ вентиляцией авторемонтного предприятия

Таким образом, контроллер должен обеспечивать плавный подбираемый уровень взаимообратного открытия заслонок, чем будет обеспечено плавное перераспределение общего воздушного потока после компрессоров на потоки подогревной рециркуляции или поток выброса. Изменением степени перенаправления горячего воздуха от компрессоров обратно в это же помещение можно будет регулировать температуру воздуха в компрессорной, а следовательно и забираемого в компрессора для охлаждения.

Уровень взаимообратного открытия пропорциональных заслонок должен подбираться контроллером в зависимости от расхождения заданной уставкой (например из диапазона 18-35°С) необходимой в компрессорной температуры и температуры измеренной расположенным вблизи воздухозаборного отверстия одного из компрессоров датчиком.

Список литературы

1. Белов В.В. Проектирование информационных систем : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / В.В.Белов, В.И.Чистякова. - М. : Издательский центр «Академия», 2013. - 352 с.

2. Вдовин В.М. Предметно-ориентированные экономические информационные системы: Учебное пособие / В. М. Вдовин, Л. Е. Суркова, А.

А. Шурупов. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013. — 388 с.

3. Компания «Датасолюшин» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://datasolution.ru/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-ventilyatsiej

4. Компания «Овен» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.owen.ru

УДК 621.6

Сапрунова Анастасия Владимировна,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Удовиченко Злата Викторовна
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Газ является одним из наиболее распространенных и важных источников энергии в мире. Однако его использование непосредственно связано с риском взрыва и пожара, поэтому безопасность газораспределительных сетей является важной темой.

В данной статье проанализированы причины аварий на газораспределительных сетях. Отмечен ряд основных мероприятий, направленных на снижение экологической опасности эксплуатации систем газоснабжения. Рассмотрены основные методы повышения надежности систем газораспределения.

Ключевые слова: газораспределение, газопотребление, газ, аварии, надежность, эксплуатация, безопасность, газоснабжение, газопровод, газоиспользующее оборудование

Газораспределительные сети – это система газопроводов, контрольно-измерительной, запорной арматуры и других сооружений, предназначенных для транспортировки газа к потребителю. Эти сети могут использоваться для доставки различных видов газа, в том числе природного, пропана, бутана и других. Основной задачей газораспределительных сетей является обеспечение надежного и безопасного транспортирования газа до мест технического использования и потребления. Они также должны соответствовать требованиям экологической безопасности и эффективности использования ресурсов. Важную роль в газораспределительных сетях играют процессы управления и мониторинга, которые позволяют эффективно контролировать работу сетей, обнаруживать и устранять возможные проблемы и сбои.

Повышение надежности газораспределительных сетей является важной задачей в современном мире, так как газ является одним из основных источников энергии, используемых в быту, промышленности и транспорте.

Для повышения надежности газораспределительных сетей необходимо проводить регулярное техническое обслуживание и модернизацию сетей, заменять устаревшие трубопроводы и оборудование, а также улучшать систему управления и мониторинга.

Важным фактором повышения надежности является также обучение персонала, работающего в газовой отрасли, совершенствование технологий, используемых для диагностики и контроля состояния сетей, а также системы защиты от аварийных ситуаций.

Повышение надежности газораспределительных сетей требует интегрированного подхода, включающего в себя обновление технической базы, обучение и совершенствование процедур, а также повышение эффективности управления и мониторинга сетей.

Газораспределительная система характеризуется значительной протяженностью и высокой степенью износа. Поэтому важно изучить причины аварий на подземных газопроводах. Аварийные ситуации происходят во всех странах, но в течение определенного периода времени их причины и характер меняются (Рисунок 1).

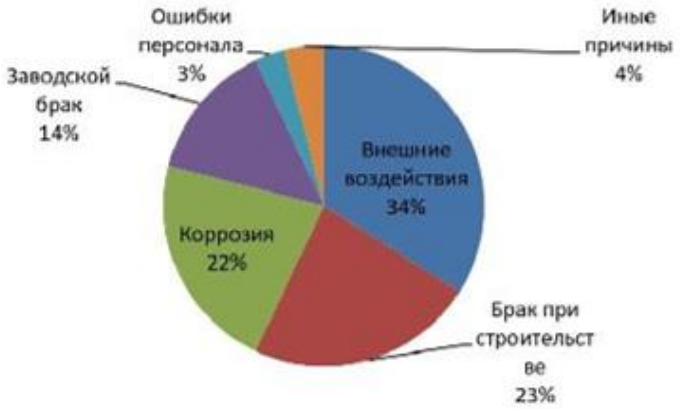


Рисунок 1 – Основные причины аварийности на объектах газоснабжения

Развитие науки, новые конструкции систем газораспределения повышают требования к их расчету, проектированию и монтажу. Если причины аварийных ситуаций раскрываются правильно и объективно, то это значительно снижает вероятность их возникновения. Во многих развитых странах созданы центры по сбору, изучению и распространению информации, созданы и действуют рекомендации по предотвращению несчастных случаев и выдаче рекомендаций по их предотвращению [1].

Анализ показывает, что ежегодно до 90% аварий происходит на действующих установках, и в большинстве случаев эти аварии вызваны нарушениями Градостроительного кодекса при инженерных изысканиях, проектировании зданий, строительных и монтажных работах. На рисунке 2 представлена динамика аварийных случаев на газовых объектах.

Рисунок 2 - Динамика аварийных случаев на газовых объектах

Системы газопотребления и газораспределения являются одними из самых опасных. Все элементы систем газораспределения и газопотребления требуют чрезвычайно серьезного внимания и строгого соблюдения правил и норм. При несоблюдении этих требований происходят взрывы газовоздушной смеси, сопровождающиеся пожарами и разрушениями. Увеличение количества аварийных ситуаций, связанных с использованием природного газа, заставило обратить серьезное внимание на состояние элементов систем газораспределения и газопотребления и принять меры по повышению безопасности [2].

По данным статистики, опубликованной Межгосударственным советом по промышленной безопасности, за последние шесть лет аварийность объектов повышенной опасности (ОПО) газораспределения и газопотребления составляет в среднем 1/5 часть всех зарегистрированных аварий в стране. На рисунке 3 представлена диаграмма, наглядно отражающая долю аварий происшедших на объектах газораспределения и газопотребления в общем количестве зарегистрированных аварий на ОПО [3].

Рисунок 3 - Доля аварий, происшедших на объектах газораспределения и газопотребления, в общем количестве зарегистрированных аварий на ОПО

Существует два основных способа повышения надежности при проектировании систем распределения и потребления газа.

Первый способ — это повышение качества элементов, составляющих систему. Здесь имеется в виду использование полиэтиленовых труб, более прочных изоляционных материалов, повышение качества строительно-монтажных работ. Второй путь предусматривает различные способы повышения надежности путем установки дополнительных деактивирующих устройств, использования дублирующих газопроводов, применения кольцевых сетей, подключения потребителей по схеме, исключающей отключение потребителей от газораспределительной системы [4].

Мероприятия по повышению безопасности газораспределительных сетей включают в себя оценку технических и организационных мер, принятых для обеспечения безопасности газоопасных объектов.

Технические меры предусматривают использование оборудования и технологий, направленных на предотвращение аварийных ситуаций и минимизацию их последствий. К таким мерам относятся:

- установка аварийных отключений и предохранительных клапанов;
- использование систем автоматической защиты от утечек газа;
- проведение регулярного технического обслуживания оборудования;
- применение современных технологий при строительстве и реконструкции газораспределительных сетей.

Организационные меры, направленные на обеспечение безопасной эксплуатации газопроводов и газоиспользующего оборудования, включают в себя:

- разработку и внедрение системы управления безопасностью газораспределительных сетей;
- проведение регулярных проверок и аудитов газопроводов и оборудования;
- организацию обучения и повышения квалификации сотрудников, обслуживающих газоопасные объекты;
- соблюдение требований правил и нормативов в области газоснабжения и безопасности [5].

Для эффективного повышения безопасности газораспределительных сетей, необходимо проводить регулярную аналитику и мониторинг, а также внедрять инновационные технологии и методы, направленные на обеспечение безопасности и надежности эксплуатации.

В свою очередь для предотвращения пожарного риска из-за небольших утечек газа внутри здания предусматривается ряд мер:

- установка газоанализаторов, которые определяют концентрацию горючих газов в помещениях и подают сигнал на диспетчерский пункт и в исполнительный запорный орган в случае превышения допустимых концентраций;
- установка пожарных извещателей, обнаруживающих повышение температуры и задымление в помещении и подающих сигнал в центр управления и на исполнительный запорный орган в случае превышения допустимых концентраций;
- установка электромагнитного клапана на входе газопровода в здание, который перекрывает подачу газа при поступлении сигнала от датчика загазованности или пожарной сигнализации, или с диспетчерского пункта;
- установка термозапорного клапана на подающем трубопроводе к газоиспользующему оборудованию при превышении температуры.

Пассивные меры по повышению безопасности включают ограничение доступа посторонних лиц к внутреннему газопроводу, соединениям и арматуре:

- прокладка газопровода в вентилируемом канале или шахте, с возможностью доступа к газопроводу персонала эксплуатирующей организации;
- неподвижное соединение газопровода;
- ограничение доступа к штекерному соединению и арматуре.

На безопасность систем газоснабжения также значительно влияет изношенность стальных газораспределительных трубопроводов.

Проведенный анализ проблемы обеспечения надежной и бесперебойной работы систем газораспределения показал необходимость осуществления комплекса мер, в том числе:

- ежегодное техническое обслуживание и проверка всех элементов газораспределительной сети;
- применение современных систем мониторинга и контроля, которые могут обнаруживать любые нарушения в работе газопроводов в режиме реального времени;
- строгий контроль над выполнением всех технологических процессов в газораспределительной сети;
- применение новейших технологий и оборудования, которые могут обеспечить безопасность газораспределительных сетей;
- проведение регулярных семинаров и тренингов для персонала;
- профилактические меры такие, как: замена старых элементов газораспределительных сетей и регулярный контроль всех компонентов сети;
- систематический мониторинг взрывоопасных зон, расположенных поблизости от газораспределительных сетей;
- внедрение системы автоматического отключения газа в случае аварии, для исключения последствий аварийной ситуации;
- проведение работ по обновлению и модернизации газораспределительных сетей, чтобы обеспечить их безопасность и надежность в соответствии с современными стандартами и требованиями;
- ведение постоянного мониторинга условий эксплуатации газораспределительных сетей и анализ состояния сети для своевременного выявления угроз безопасности и принятия мер по устранению этих угроз.

Список литературы

1. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб : свод правил по проектированию и строительству : издание официальное : принят и введен в действие решением Межведомственного координационного совета по вопросам технического совершенствования газораспределительных систем и других инженерных коммуникаций (Протокол от 8 июля 2003 г. № 32) : введен впервые : дата введения 2003-07-08 / разработан ОАО «ГипроНИИгаз, АО «ВНИИСТ», ОАО «МосгазНИИпроект», ОИ «Омскгазтехнология», ЗАО «Надежность», Госгортехнадзор России, Госстрой России и ряд газораспределительных хозяйств России при координации ЗАО «Полимергаз». – Москва : ЗАО «Полимергаз», 2006. – 273 с.

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 г. N 531. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/902243701

3. Сигайлов, М. В. Современные проблемы обеспечения безопасной эксплуатации сетей газораспределения и газопотребления / М. В. Сигайлов, В. Е. Матвеевцев, А. Е. Шувакин // Молодой ученый. — 2015. — № 24 (104). — С. 214-216.

4. Диденко В. Г. Экологическая безопасность при проектировании и эксплуатации объектов магистральных систем газоснабжения / В. Г. Диденко, И. В. Брызгалин // Газовая промышленность. — 2007. — № 24 (104). — С. 214-216.

5. Удовенко В.Е. Об обеспечении необходимой безопасности и повышения энергоэффективности систем газораспределения и газопотребления / В.Е. Удовенко // Вестник МГСУ. – Москва: МГСУ, 2011. - №7/2011. – С. 541-547.

УДК 692.51

Копец Карина Константиновна,
доцент каф. вентиляции, теплогазо- и водоснабжения;
Бабенко Максим Михайлович,
Фесин Андрей Александрович,
студенты группы С-511м,
ИСА и ЖКХ ЛГУ им. В. Даля

ТЕПЛЫЙ ПОЛ НА УЛИЦЕ - ПРАКТИЧНОЕ ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ

Данная статья посвящена такому инновационному решению, как устройство теплого пола на улице. Приведены исторические аспекты возникновения таких систем. Особое внимание уделяется существующим видам теплых полов и особенностям их устройства и применения в холодный период. Рассмотрены преимущества и недостатки применения системы теплый пол на улице.

Ключевые слова: теплый пол, отопление, благоустройство, придомовая территория, автомобильные дороги, инновации.

Современные технологии в различных отраслях и сферах постоянно развиваются путем внедрения прогрессивных инноваций. Не исключением является и теплотехническая область. Инновации в теплотехнике стимулируют развитие бизнеса, строительной индустрии и сферы жилищно-коммунального хозяйства, а также существенно повышают качество жизни населения. Инновации – это внедрение и использование новых технологий и материалов, направленных на повышение эффективности процессов или продукции.

В условиях холодного климата нашей страны, особенно актуальным становится вопрос обогрева открытых площадок возле дома, гаражей, входных ступенек. Теплый пол по грунту позволяет решить такую проблему как сильное промерзание придомового участка, уменьшив тем самым неудобства его эксплуатации в зимний период [1]. Исходя из этого, сформулируем цель исследования.

Цель - обосновать эффективность использования системы теплый пол на улице.

Теплый пол для улицы способствует сохранению площадки возле дома в чистом от снега или наледи виде. Система устанавливается около крыльца или на дорожках возле дома, иногда тёплый пол проводят по ступенькам из здания [2]. Системы теплых полов предлагают быстрое и надежное решение — используя тепловую энергию подогретой воды или электрический ток, они позволяют в кратчайшие сроки избавиться не только ото льда и снега, но и от излишней влаги в период оттепели [1].

Считается, что теплые полы – это одно из современных изобретений. Однако на самом деле идея обустройства обогреваемого пола появилась и была реализована еще в античности. Древнеримские архитекторы и знатоки гидравлики сумели разработать достаточно эффективную систему отопления помещений домов с помощью теплых полов.

Проведенные раскопки (Рис.1) и изученные письменные источники позволили ученым выяснить, что в Древнем Риме теплые полы были достаточно распространенным явлением. Как и в наше время, сначала эти системы обогрева были доступны только богатым и знатным гражданам (Рис.2). Постепенно теплые полы стали появляться и в общественных местах. Конечно же, в первую очередь их начали устанавливать в знаменитых римских банях.

Рисунок 1 - Римский гипокауст на о.Крит

Рисунок 2 - Дом зажиточного древнего римляна

Со временем новинка дошла и до домов менее зажиточных римлян. Больше всего новая система отопления ценилась в холодных местностях Римской империи. Впрочем, в теплых уголках нагревательные системы тоже не являлись исключительной редкостью: комфорт любят все [3].

На сегодняшний день технология подогрева тротуаров и автомобильных дорог нашла широкое применение в городах, где существует проблема образования наледи и уборки снега. Япония - одна из передовых стран в этой области. В северных регионах государства климат отличается ярко выраженной зимой с отрицательными температурами и обилием снега. В Японии запрещено применение химических реагентов на улицах, зато приветствуется применение подогрева. Сама технология подогрева асфальта во многом схожа с технологией «теплого пола» в строительстве, когда под внешнее покрытие укладывается сетка с нагревательным элементом. Выпавший снег мгновенно тает, не образуя сугробов или наледи, что существенно облегчает жизнь пешеходам, водителям, ну и, конечно же, работникам коммунальных служб. На дорогах снижается количество аварийных ситуаций, а пешеходы не страдают от падений по причине образовавшейся наледи. Дороги с подогревом успешно применяют в США, Канаде, Норвегии и Исландии. В Исландии в качестве источника тепла выступают геотермальные воды, которыми так богата территория этого государства. В других

же странах чаще используются электрические системы. Следует отметить, что помимо удобства такая технология обладает рядом преимуществ. Несмотря на высокую себестоимость стоимость, такие дороги имеют большой срок службы, ведь периодическое замерзание и оттаивание в течение холодного сезона приводит к образованию дефектов на обычном дорожном покрытии [4].

Устройство теплого пола для улицы

Данная система значительно отличается от той, которая устраивается в доме. Внутри помещения поддерживается температура от +20 до +25 градусов, в то время как снаружи от +10 градусов до- 5. Требования довольно невысоки, но при этом от системы отопления требуется большая мощность. Площадь нагрева большая, а утепления нет. Теплый пол на улицу рекомендуется делать неподалеку от источника питания электроэнергией или от центрального отопительного котла. Система укладывается с разным покрытием:

- бетонный пол;
- плитка для тротуара;
- асфальт;
- керамогранитные плиты или крошка;
- плиты из камня.

Виды теплых полов

Теплый пол на улицу может быть следующих видов:

1.Водяной. Система водяного подогрева состоит из сплошной пластиковой или металлической трубки, заполненной теплоносителем и подключенной к системе отопления или котлу внутри дома. Такой уличный обогрев требует надежной теплоизоляции, иначе в холодное время года любой сбой в работе может перерасти в разрыв труб замерзшей внутри водой.Стоимость его эксплуатации намного ниже, чем электрической системы, что позволяет с успехом использовать ее на больших площадях. Единственный недостаток — высокая цена комплектующих, ведь купить придется не только котел и трубы, но и водяной насос.

2. Электрический. Электрообогрев оптимально подходит для небольших участков, требующих постоянной очистки от снега и льда. Особенно эффективно греется от электричества натуральный и искусственный камень — прогреваясь равномерно по всему объему, он долго сохраняет внутреннюю температуру.

3. Инфракрасный. Инфракрасные маты подойдут для лестниц на улице. Система делается на карбоновой основе в виде пленки – проходящий по ее стержням-проводникам ток позволяет обогревать поверхности.

4. Электронно-кабельный. В такой системе обогрева греющий кабель имеет параллельную конструкцию. Контур самостоятельно меняет вырабатываемую мощность, исходя из параметров окружающего воздуха. Эта особенность работы теплого пола становится все более популярной у владельцев жилья, поскольку обеспечивается существенную экономию на потреблении электроэнергии. Поверхности на улице прогреваются системой равномерно.

5. В виде электрического нагревательного мата. Греющий кабель крепится к сетке. Процесс нагрева происходит от нагрева током к элементу, обогревающему покрытие. Тепло вырабатывается кабелем и передается на пол, где задерживается. Применение таких электрических систем обширно для отопления площадок у частных домов, прогрева входов в общественные сооружения, иногда кабель прогревает ступеньки от наледи [1,2].

Преимущества и недостатки теплых уличных полов

Система подогрева уличного покрытия имеет ряд существенных преимуществ:

1. Сухость и чистота уличной поверхности.
2. Безопасность для населения зимой.
3. Покрытие на улице прослужит дольше.

4. Минимизация временных и трудовых затрат на уборку территории.

Недостатком системы можно отметить лишь ее трудоемкость и дороговизна, то есть затраты на ее монтаж и сложность укладки контура и расчета мощностей.

Вывод: Система теплого пола нашла широкое применение в ряде развитых стран. Чаще всего применяется при прокладке дорожного покрытия, крылец и ступеней частных домов и торговых центров. Уменьшая вероятность травматизма населения в холодный период года. И сокращая трудозатраты на уборку территорий. Теплый пол на улице имеет больше преимуществ, чем недостатков, поэтому при наличии финансовой возможности рекомендуется его применять.

Список литературы

1. Теплый пол по грунту: устройство водяного обогрева. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://applesakhalin.ru/otoplenie/teplyj-pol-po-gruntu-ustrojstvo-vodyanogo-obogreva.html
2. Зачем и как устанавливать теплый пол на улице. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://strop-snab.ru/novosti/teplyj-pol-na-ulice-2.html
3. История теплых полов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://dzen.ru/a/XZdACh7jTwCv-mfl
4. Дороги с подогревом: практичное решение для стран с холодным климатом. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://travelask.ru/blog/posts/13638-dorogi-s-podogrevom-praktichnoe-reshenie-dlya-stran-s-holodn

УДК 692

Монах Светлана Игоревна,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ;
Захаров Михаил Александрович
магистрант гр.ЗТГВм-52а каф. ТТГВ;
Юнченко Евгений Викторович
магистрант гр.ЗТГВм-52а каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА В НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЯХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЕТРА

В данной статье разработана математическая модель тепло- и влагообмена в наружных ограждениях с учетом влияния ветра. Целью данной работы является получение математического аппарата для проведения исследований влияния скорости ветра на тепловой и влажностный режим наружных ограждающих конструкций. Использование разработанной математической модели для проведения численных исследований возможно путем аппроксимации полученных дифференциальных уравнений с применением метода конечных разностей.

Ключевые слова: наружные ограждения, тепловой режим, влажностный режим, влагообмен, коэффициент теплоотдачи, коэффициент влагообмена, коэффициент теплопроводности, градиент температуры, градиент потенциала влажности, скорость ветра, ветровой коэффициент, математическая модель, численные исследования.

Математическая модель тепло- и влагообмена в наружных ограждениях с учетом влияния ветра необходима для исследования этого влияния на тепловлажностный режим в ограждении, а следовательно, на теплозащитные качества ограждающих конструкций.

В качестве базовой математической модели может быть использована расчетная физико-математическая модель А.В. Лыкова [1] на основе относителного потенциала влажности А.Г. Перехоженцева [2] с последующим введением поправок на влияние ветра.

Математическую часть решения задачи, основанную на данной модели, можно существенно упростить. А именно: нет необходимости в процессе решения переходить от уравнений, описывающих процесс переноса парообразной влаги к уравнениям при сверхсорбционном увлажнении поскольку коэффициенты переноса влаги, отнесенные к градиенту потенциала этого переноса, позволяют охарактеризовать все процессы, во всем диапазоне увлажнения, происходящие в порах материала ограждающей конструкции.

Относительный потенциал влажности [2] позволяет достаточно просто и достоверно исследовать влажностные свойства материалов.

При моделировании используем метод математической физики, при котором дифференциальные уравнения, описывающие тепло- и влагоперенос в наружнных ограждениях, основаны на применении сохранения энергии и массы к элементарнму бесконечно малому элементу среды с учетом потока теплоты и влаги через поверхность этого элементарного объема, а также теплоты и влаги поглощенной (выделенной) в объеме рассматриваемого элемента.

Для определения влияния ветрового режима на влагообмен в ограждении и перераспределение влажности в его толще рассмотрим наиболее простой случай – одномерного температурного и влажностного поля, считая, что слои ограждения однородны и изотропны, а высота и длина ограждения бесконечно велики по сравнению с его толщиной.

На основании моделей, приведенных в [1, 2, 3, 4] можно получить следующую систему дифференциальных уравнений, описывающих совместный процесс переноса теплоты и влаги в наружном ограждении

$$(c^T \cdot \rho_0)_i \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda^T_{(x,\tau)_i} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\right] \quad (1)$$

$$(c^\Theta \cdot \rho_0)_i \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda^\Theta_{V(x,\tau)_i} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda^\Theta_{V(x,\tau)_i} \cdot \delta^\Theta_{T(x,\tau)_i} \cdot \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x}\right] \quad (2)$$

где T – температура, ^{o}C;

Θ – относительный потенциал влагопереноса, ^{o}В (масообменный, влагообменный градус);

ρ_0 – плотность материала, кг/м^3;

τ – время, с;

x – расстояние от поверхности до рассматриваемого сечения в толще ограждения, м;

c^T – удельная теплоемкость строительных материалов, принимаемая постоянной по справочным данным, Дж/кг· ^{o}C;

c^Θ – удельная влагоемкость материалов, %/ ^{o}В (или кг/кг· ^{o}В). По аналогии с удельной теплоемкостью равна частной производной от влагосодержания по потенциалу влагопереноса при постоянной температуре $c^\Theta = \left(\frac{\partial u}{\partial \Theta}\right)_T$;

$\lambda^T_{(x,\tau)_i}$- коэффициент теплопроводности влажного материала в направлении x в i-том узле разбивочной сетки ограждающей конструкции, Вт/м·^{o}C;

$\lambda^\Theta_{(x,\tau)_i}$ – коэффициент изотермической влагопроводности, кг/м·с·^{o}В;

$\delta^\Theta_{T(x,\tau)_i}$ - термоградиентный коэффициент, $\delta^\Theta_{T(x,\tau)_i} = \frac{\partial \Theta}{\partial \mathrm{T}}$, ^{o}В/^{o}C.

К уравнениям (1) и (2) следует добавить условия однозначности.

Граничные условия III рода тепло- и влагообмена наружной поверхности ограждения с наружным воздухом, учитывающие поправку на ветер, могут быть записаны в виде двух систем уравнений баланса теплоты и влаги на наружной и внутренней поверхностях ограждения

- на наружной поверхности

$$\alpha^{\mathrm{T}}_{\mathrm{н}}(\mathrm{T}_{\mathrm{н.пов}})(\tau) - \left(\mathrm{T}_{\mathrm{н.возд}}\right)(\tau)) = -\lambda^{\mathrm{T}} \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}}\Big|_{\mathrm{н.пов}}, \quad (3)$$

$$\beta^\Theta_V(\Theta_{\mathrm{н.пов}})(\tau) - \left(\Theta_{\mathrm{н.возд}}\right)(\tau)) = -\lambda^\Theta_V \frac{\partial \Theta}{\partial \mathrm{x}}\Big|_{\mathrm{н.пов}} - \lambda^\Theta_V \delta^\Theta_T \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}}\Big|_{\mathrm{н.пов}} \quad (4)$$

- на внутренней поверхности

$$\alpha^{\mathrm{T}}_{\mathrm{в}}(\mathrm{T}_{\mathrm{в.пов}})(\tau) - \left(\mathrm{T}_{\mathrm{в.возд}}\right)(\tau)) = -\lambda^{\mathrm{T}} \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}}\Big|_{\mathrm{в.пов}} \quad (5)$$

$$\beta^\Theta(\Theta_{\mathrm{в.пов}})(\tau) - \left(\Theta_{\mathrm{в.возд}}\right)(\tau)) = -\lambda^\Theta_V \frac{\partial \Theta}{\partial \mathrm{x}}\Big|_{\mathrm{в.пов}} - \lambda^\Theta_V \delta^\Theta_T \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}}\Big|_{\mathrm{в.пов}} \quad (6)$$

где $\alpha^{\mathrm{T}}_{\mathrm{н}}$ – коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения, Вт/м^2·^{o}C;

$\alpha^{\mathrm{T}}_{\mathrm{в}}$ – коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждения, Вт/м^2·^{o}C;

β^Θ_V – коэффициент влагообмена на наружной поверхности ограждения, учитывающий поправку на ветер Перехоженцева А.Г. [2], кг/м^2·с· ^{o}В;

β^Θ – коэффициент влагообмена на внутренней поверхности ограждения, кг/м^2·с· ^{o}В;

«н.пов» - индекс, обозначающий параметры на наружной поверхности ограждения;

«в.пов» - индекс, обозначающий параметры на внутренней поверхности ограждения;

«н.возд» - индекс, обозначающий параметры воздушной среды с наружной стороны ограждения;

«в.возд» - индекс, обозначающий параметры воздушной среды внутри помещения.

Условия сопряжения на стыках материальных слоев наружного ограждения задаются граничными условиями IV рода

По температуре и тепловому потоку:

$$T_1(\tau) = T_2(\tau) \quad (7)$$

$$q_1(\tau) = q_2(\tau) \quad (8)$$

где

$$q_1 = \left(-\lambda^T_{(x,\tau)} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\right)_i, \text{ i = 1,2} \quad (9)$$

По потенциалу влагоперенса и потоку влаги:

$$\Theta_1(\tau) = \Theta_2(\tau) \quad (10)$$

$$j_1(\tau) = j_2(\tau) \quad (11)$$

$$j_1 = \left(-\lambda^\Theta_{(x,\tau)} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial x}\right)_i + \left(-\lambda^\Theta_{(x,\tau)} \cdot \delta^\Theta_{T(x,\tau)} \cdot \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x}\right)_i, \text{ i = 1,2} \quad (12)$$

Начальные условия соответствуют тепловлажностному режиму ограждения в момент ввода здания в эксплуатацию и при $\tau = 0$ можно записать

$$T(x,0) = T_0(x) \quad (13)$$

$$\Theta(x,0) = \Theta_0(x) \quad (14)$$

Таким образом, дифференциальное уравнение (1) – это уравнение баланса теплоты в толще наружного ограждения, а уравнения (3) и (5) представляют из себя уравнения балансов теплоты соответственно на наружной и внутренней его поверхностях.

Правая часть уравнений (1), (3), (5) представляет собой плотность теплового потока q, [Вт/м^2]. Стоком теплоты за счет градиента потенциала влажности можно пренебречь, поскольку процессы переноса влаги малоинтенсивны по сравнению с процессами переноса теплоты. Известно, что релаксация влажностных полей в ограждении продолжается от нескольких месяцев до 3 – 5 лет, а температурных полей – до 3 – 5 дней.

Дифференциальные уравнения (2), (4) и (6) – соответственно уравнения баланса влаги в толще ограждения и на его наружной и внутренней поверхностях.

Первая составляющая правой части уравнений (2), (4), (6) представляют собой поток влаги j,[кг/м^2·с] в изотермических условиях, а вторая часть этих уравнений - это сток влаги за счет температурного градиента.

Удельную изотермическую влагоемкость материала c^Θ, кг/кг·^{o}В, можно получить простым дифференцированием экспериментальных шкал потенциалов влажности рассматрваемых материалов.

$$c^\Theta = \frac{dW_0}{d\Theta} \quad (15)$$

где W_0 – объемное влагосодержание материала, %;

Θ – относительный изотермический потенциал влажности, приведенный в работе [70],^{o}В.

Кооэффициенты теплопроводности влажных матерриалов можно рассчитать по следующим зависимостям [2]:

- для положительной температуры

$$\lambda^T(T,\Theta) = \lambda^T_0 + 0{,}0062 \cdot W_0 \quad (16)$$

- для отрицателной температуры

$$\lambda^T(T,\Theta) = \lambda^T_0 + 0{,}0207 \cdot W_0 \quad (17)$$

где λ^T_0 – коэффициент теплопроводности сухого материала, определяемый по справочным данным, Вт/м·^{o}С;

W_0 – то же, что в формуле (15).

Коэффициенты влагопроводности $\lambda^\Theta_V(T,\Theta,P)$, кг/м·с·^{o}В, с учетом экспериментальной поправки на ветер [2], определяются по формуле

$$\lambda^\Theta_V(T,\Theta,P) = \alpha^\Theta_V(T,\Theta,P) \cdot c^\Theta \cdot \rho_0, \quad (18)$$

где $\alpha_V^{\Theta}(T,\Theta,P)$ - коэффицент потенциалопроводности с учетом экспериментальной поправки на ветер [2], кг/м·с·°В;

c^{Θ} и ρ_0 – то же, что в формуле (2).

Термоградиентный коэффициент $\delta_{T(x,\tau)}^{\Theta}(T,\Theta)$ определится в соответствии с рекомендациями Перехоженцева А.Г

$$\delta_{T(x,\tau)}^{\Theta}(T,\Theta)=\frac{r^2\cdot\left(\partial\tau/\partial T+307{,}94\cdot10^7\cdot h\cdot ln(\varphi)\right)\cdot(\partial W/\partial r)\cdot m_s}{C_{\Theta}\cdot\sigma(2{,}239\cdot10^4\cdot(T/273)^{1{,}81}\cdot p_1\cdot\eta\cdot(r-h)^2/(T^2h^2r)+1{,}333\cdot h)}+\frac{100\cdot\rho\cdot r\cdot f_V(r)\cdot(\partial\sigma/\partial T)}{C_{\Theta}\cdot\sigma} \quad (19)$$

где $f_V(r)$ – дифференциальная функция распределения объемов пор по радиусам;

T – температура, К;

p_1 – парциальное давление водяного пара, Па;

W – объемное влагосодержание материала,%;

r – радиус капилляра ($r \le 0{,}1$ мм), м;

C_{Θ} – объемная изотермическая влагоемкость материала, кг/м^3·°В, ($C_{\Theta}=c^{\Theta}\cdot\rho_0$);

σ – поверхностное натяжение воды, Дж/м^2;

η – вязкость воды, Па·с;

h – толщина смачивающей пленки;

d_1, m_s – коэффициенты аппроксимации, приближающие моделируемые поры в материалах к реальным.

Первое слагаемое правой части уравнения (19) определяет совместную термодиффузию парообразной и пленочной влаги в незаполненных жидкостью капиллярах, второй – термодиффузию объемной влаги в капиллярах, заполненных водой.

Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности наружных ограждений принят обобщенным, по рекомендации нормативной литературы $\alpha_{в.пов.}=8{,}7$ Вт/м$^2\cdot$ °С [5].

Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности определится как сумма лучистой и конвективной составляющей

$$\alpha_{н.пов}(T,V)=\alpha_{Л}+\alpha_{К} \quad (20)$$

Лучистая составляющая может быть определена с помощью закона Стефана-Больцмана

$$\alpha_{Л}^{н.пов}=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_0}}\cdot\frac{\left[\frac{t_{н.возд}+273}{100}\right]^4+\left[\frac{t_{н.пов}+273}{100}\right]^4}{t_{н.возд}-t_{н.пов}} \quad (21)$$

где C_1, C_2 и C_0 – соответственно коэффициенты излучения поверхностей 1, 2 и абсолютно черного тела, определяемые по справочным данным.

Конвективная составляющая может быть рассчитана по формуле Франка [6]

$$\alpha_{К}^{н.пов}=1{,}16(6{,}31\cdot V^{0{,}656}+3{,}25\cdot e^{-1{,}91V}) \quad (22)$$

Коэффициент влагообмена на внутренней поверхности определяется по эмпирической зависимости, полученной В.Н. Богословским [6] и учитывающей градиент температуры и градиент потенциала влажности поверхности материала и воздушной среды

$$\beta_{\Theta}=0{,}64\cdot\Delta t^{1/3}\cdot\Delta\Theta^{2/5}\cdot10^{-6} \quad (23)$$

где β_{Θ} – коэффициент влагообмена, отнесенный к разности потенциалов влажности, кг/м^2·с·°В;

Δt – перепад температур между поверхностью ограждения и окружающим воздухом,°С;

Δ Θ – перепад потенциалов влажности между поверхностью ограждения и окружающим воздухом, °В.

Для вывода эмпирической зависимости коэффициента влагообмена, учитывающего влияние ветра целесообразно рассматривать расчетный диапазон скорости ветра $V_в = 0 \div 14$ м/с, на котором выполняется линейная зависимость этого коэффициента от скорости ветра

$$\beta_V=\beta_0+k_V\cdot V \quad (24)$$

При скорости ветра выше 14 м/с по данным экспериментальных работ [2] рост коэффициента влагообмена прекращается.

В формуле (24) β_0 учитывает изменение коэффициента при скорости ветра равной 0 и в изотермических условиях определяется как

$$\beta_0 = 0{,}063 \cdot \Delta\Theta^{2/5} \cdot 10^{-6} \quad (25)$$

А при наличии температурного градиента β_0 определится по формуле (23).

Зависимость ветрового коэффициента k_V аппроксимируется логарифмической функцией и в диапазоне увлажнения $42 \leq \Theta \leq 100$ °В вычисляется по эмпирической формуле [70]

$$k_V = [0{,}094 \cdot ln(\Theta - 41)] \cdot 10^{-6} \quad (26)$$

При увлажнении поверхности материала $\Theta_{пов} \leq 42$ °В имеет место сорбционная связь влаги со структурой материала и поэтому скорость ветра практически не оказывает влияние на коэффициент влагообмена, который определяется по формуле (24) без учета поправки на ветер, т.е. при ветровом коэффициенте равном $k_V = 0$.

Поскольку при скоростях ветра свыше 10 м/с влияние ветра на коэффициент влагообмена становится менее значительным, а при скоростях свыше 14 м/с коэффициент влагообмена стабилизируется и его в пределах ошибки можно принимать равным значению, посчитанному для скорости ветра 10 м/с.

Следовательно, при достижении скорости ветра 10 м/с наступает предел роста влаги через единицу площади поверхности материала в единицу времени.

Таким образом дифференциальные уравнения (1 ÷ 6) с учетом поправок на ветер – уравнения (23 ÷ 25), подчиненные граничным и начальным условиям, являются математической моделью тепло- и влагообмена в наружных ограждениях, которая позволяет описать тепловой и влажностный режим в ограждающих конструкциях зданий с учетом влияния ветрового режима на влагообмен. Коэффициенты переноса и влпгообмена, отнесенные к соответствующим потенциалам, позволяют охарактеризовать процессы, происходящие в порах увлажненных материалов в широком диапазоне влажности этих материалов.

Дифференциальные уравнения (1 ÷ 6), описывая процесс тепло- и влагообмена в неоднородной среде многослойного наружного ограждения, являются нелинейными, поскольку коэффициенты переноса тепла и влаги в конструкционных материалах существенно зависят от температуры, потенциала влагопереноса, а на наружной поверхности еще и от скорости ветра. Поэтому аналитическое решение этой задачи не представляется возможным.

Использование полученной математической модели для исследования влияния ветра на тепловой и влажностный режимы наружного ограждения возможно с помощью вычислительного эксперимента. При этом при использовании численных исследований для аппроксимации дифференциальных уравнений (1 ÷ 6) представляется целесообразным применение метода конечных разностей.

Список литературы

1. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник / 2-е изд., перераб. и доп./ А.В. Лыков [Текст]. - М.: Энергия, 1978. -489 с.:ил.

2. Перехоженцев А.Г., Вопросы теории и расчета влажностного состояния неоднородных участков ограждающих конструкций зданий./ А.Г. Перехоженцев [Текст]. – Волгоград: ВолгГАСА, 1997. -273 с.:ил.

3. Перехоженцев А.Г., Григоров А.Г. Влагообмен наружных поверхностей ограждающих конструкций зданий с учетом ветра.// Междунар. науч. практ. конф. «Стены и фасады. Актуальные проблемы строительной теплофизики». – Москва, 2003. С.69-75.

4. Перехоженцев А.Г., Григоров А.Г. Влияние скорости ветра на влагообмен ограждающих конструкций зданий.//Междунар. науч.-техн. конф. «Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций». – Волгоград, 2003. С.128-132.

5. СП 50.13330.2012 ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Дата введения 2013-01-06. Минстрой России, Москва 2013.

6. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха)./ Учеб. для ВУЗов/ 2-е изд., перераб. и доп./ - М.: Высш. шк., 1982. -415 с.:ил.

УДК 697.343

Волков Геннадий Евгеньевич,
магистрант гр. ТГВм-52 каф. ТТГВ;
Ягмур Вера Николаевна,
магистрант гр. ТГВм-52 каф. ТТГВ**;**
Долгов Николай Викторович,
кандидат технических наук,
доцент каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО "ДОННАСА"

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время в отечественных системах теплоснабжения практически повсеместно нарушаются принципы качественного регулирования. Анализ показывает, что реальным выходом из сложившей ситуации является перевод систем теплоснабжения на централизованное количественное и качественно-количественное регулирование. Внедрение новых способов регулирования позволит существенно повысить надежность и качество работы систем теплоснабжения.

Ключевые слова: теплоснабжение, качественное, качственно – количественное, централизованная система, регулирование, качество, надежность, качество, расход.

Централизованная система, при всех её преимуществах и недостатках, требует значительных затрат на эксплуатационные расходы и модернизацию, связанную с уменьшением теплопотерь. Кроме того, централизованная система требует значительных затрат на регулирование теплоснабжения для конечных потребителей. Именно системы централизованного теплоснабжения, ориентированные на ресурсо- и энергосбережение, оснащённые высокой степенью автоматизации и регулирования на всех ступенях, вплоть до поквартирного, применяются сегодня в ряде стран западной и центральной Европы. В том виде, в котором централизованная система создавалась в нашей стране, она была не регулируемой изначально (по температурным параметрам) для конечного потребителя. Эта тенденция имеет место и сегодня. Следует учитывать, что за последние десятилетия, в эксплуатацию централизованных сетей, а также в их модернизацию, не вкладывалось, да и не вкладывается сейчас достаточных средств. Следствием этого является на сегодняшний день почти 80% износ сетей, нарушение их теплоизоляции, другие негативные факторы, и, как результат, весьма значительные потери производимого тепла (до 30-50%).

При проектировании энергоэффективных систем отопления, согласно требованиям строительных норм, следует предусматривать комплексное автоматическое регулирование параметров и адекватную этим задачам конструкцию систем отопления. Комплексное автоматическое регулирование включает в себя несколько базовых принципов. Один из них индивидуальное автоматическое регулирование на каждом отопительном приборе термостатом, обеспечивающем поддержание заданной жильцом температуры помещения. Другой важный принцип энергосбережения применение устройств автоматического регулирования параметров теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха, параметров теплоносителя в тепловой сети и изменяющихся в процессе работы теплогидравлических характеристик системы отопления.

С начала развития централизованного теплоснабжения в качестве основного метода регулирования отпуска тепла был принят метод центрального качественного регулирования по основному виду тепловой нагрузки. В течение длительного времени основным видом тепловой нагрузки являлась нагрузка отопления, присоединяемая к тепловой сети по зависимой схеме через водоструйные элеваторы. Центральное качественное регулирование заключалось в поддержании на источнике теплоснабжения температурного графика, обеспечивающего в течение отопительного сезона заданную внутреннюю температуру отапливаемых помещений при неизменном расходе сетевой воды. Такой температурный график, называемый отопительным, широко применяется в системах теплоснабжения и в настоящее время.

С появлением нагрузки горячего водоснабжения минимальная температура воды в тепловой сети была ограничена величиной, необходимой для подачи в систему горячего водоснабжения воды с температурой не ниже 60 ^{0}С, требуемой по СНиП, т.е. величиной 70-75 ^{0}С в закрытых системах и 60-65 °С в открытых системах теплоснабжения, несмотря на то, что по отопительному графику требуется теплоноситель более низкой температуры. «Срезка» отопительного температурного графика при указанных температурах и отсутствии местного количественного регулирования расхода воды на отопление приводит к перерасходу тепла на отопление при повышенных наружных температурах т.е. возникают так называемые весеннее-осенние «перетопы».

В двухступенчатых последовательных схемах включения подогревателей нагрузка горячего водоснабжения приводит к снижению температуры воды, поступающей в системы отопления. В этих условиях отопительный температурный график не обеспечивает требуемую зависимость расхода тепла на отопление от наружной температуры.

Именно поэтому основной задачей регулирования отпуска тепла в системах теплоснабжения является поддержание заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях при изменяющихся в течение отопительного сезона внешних климатических условий и заданной температуре воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, при изменяющимся в течение суток расходе этой воды. [4].

Существует только три принципиально различных метода регулирования отпуска тепловой энергии на нужды теплоснабжения: качественный, количественный и качественно-количественный. При качественном методе регулирования температура теплоносителя изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, а расход теплоносителя остается постоянным.

При количественном методе регулирования, наоборот, температура теплоносителя остается постоянной, а расход теплоносителя в системе теплопотребления изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха.

Качественно-количественный принцип регулирования сочетает в себе оба названных метода. В свою очередь все эти методы подразделяются на центральное регулирование (на источнике тепла) и местное регулирование. На сегодняшний день, давайте скажем прямо, фактически свершился вынужденный переход от качественного регулирования к качественно-количественному.

Перевод систем теплоснабжения на количественное и качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки является, как показывает опыт зарубежных стран, эффективным энергосберегающим мероприятием.

Большое распространение получают способы количественного и качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки. Однако количественное и качественно-количественное регулирование, которое обладает целым рядом преимуществ перед качественным регулированием, как было показано выше, не может быть внедрено в существующих системах теплоснабжения без их определенной модернизации и применения

новых технологических решений. В настоящее время отсутствуют схемы ТЭЦ, на которых возможно реализовать новые способы регулирования.

За счет понижения максимальной температуры нагрева теплоносителя до 100-110 °С и использования количественного или качественно-количественного регулирования новые технологии позволяют повысить надежность пиковых водогрейных котлов ТЭЦ и шире использовать преимущества теплофикации. При разделении сетевой воды на параллельные потоки снижается гидравлическое сопротивление в оборудовании ТЭЦ, более полно используется тепловая мощность сетевых подогревателей турбин, а также водогрейных котлов за счет увеличения температурного перепада на их входе и выходе до 40-50 °С, а также увеличивается электрическая мощность ТЭЦ и возрастает абсолютная величина комбинированной выработки электрической энергии. [2,3].

При количественном и качественно-количественном регулировании организацию переменного расхода сетевой воды в теплосетях необходимо сопровождать полным оснащением местных систем теплопотребления приборами автоматического регулирования параметров теплоносителя и гидравлической защиты от возникновения аварийных режимов, разработан ряд технических решений по стабилизации гидравлического режима местных систем отопления при переменном расходе воды в теплосети рисунок 1 [1].

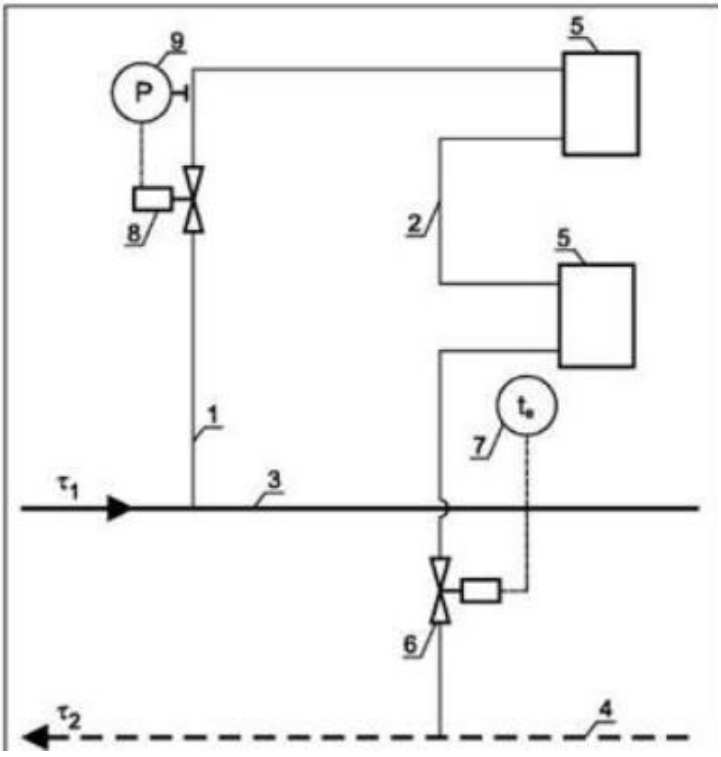


Рисунок 1 - Система отопления с регулятором давления на подающем стояке и регулятором расхода на обратном стояка:
1,2 – подающий отбратный стояк системы отопления; 3,4 – подающая и обратная магистрали тепловой сети; 5 – отопительный прибор; 6 – регулятор расхода; 7 – датчик температуры воздуха в помещении; 9 – датчик давления

Особенностью одного из предложенных решений является то, что регулирование тепловой производительности местной системы теплопотребления производят изменением расхода обратной сетевой воды с помощью регулятора расхода, установленного после

системы отопления. Установка регулятора расхода после системы отопления позволяет свести к минимуму влияние нагрузки горячего водоснабжения на работу системы отопления без значительного увеличения расхода сетевой воды в тепловой сети.

Полное оснащение всех потребителей тепловой энергии приборами автоматического регулирования и гидравлической защиты способствует перенесению основной доли регулирования на местные системы. Роль центрального регулирования при этом сводится к корректировке параметров теплоносителя на коллекторах теплоисточника в зависимости от параметров теплоносителя на абонентских вводах.

Рассмотренные технологии комбинированного теплоснабжения потребителей. Преимуществом комбинированных технологий является возможность каждого абонента самостоятельно выбирать момент включения пикового теплоисточника и величину нагрева воды в нем, что повышает качество теплоснабжения и создает более комфортные условия индивидуально для каждого потребителя.

Список литература

1. Шарапов В. И., Ротов П.В. Технологии регулирования нагрузки систем теплоснабжения. Ульяновск: УлГТУ, 2003. - 160 с.

2. Андрющенко А.И., Николаев Ю.Е. Возможности повышения экономичности, надежности и экологичности систем теплофикации городов // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Материалы Третьей Российской научно-технической конференции. Ульяновск: УлГТУ. 2001. С. 194-197. Андрющенко А. И. Возможности повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения городов // Промышленная энергетика. 2002. № 6. С. 15-18. Шарапов В.И., Орлов М.Е. Пиковые источники теплоты систем централизованного теплоснабжения. - Ульяновск: УлГТУ. 2002. 204 с.

3. Андрющенко А. И. Возможности повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения городов // Промышленная энергетика. 2002. № 6. С. 15-18.

4. Шарапов В.И., Орлов М.Е. Пиковые источники теплоты систем централизованного теплоснабжения. - Ульяновск: УлГТУ. 2012. 204 с.

УДК 697.326.8

Рыбак Данил Эдуардович,
магистрант гр. ТГВм-52а каф. ТТГВ;
Лукьянов Александр Васильевич,
д.т.н., профессор каф. ТТГВ,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

КОРРЕКЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ КОМПЛЕКСОНАМИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В данной статье рассмотрены закономерности использования комплексонов в качестве средства коррекционной обработки воды. Приведены основные преимущества использования комплексонов, эффективность их внедрения, область применения и необходимые параметры воды для эффективной коррекционной водоподготовки.

Ключевые слова: комплексоны, водоподготовка, фосфонаты, химводоочистка

В результате возрастающей минерализации воды, как в подземных, так и в наземных источниках, а также частое использование ограниченных объемов воды вызывают загрязнение оборудования систем теплоснабжения отложениями малорастворимых солей и продуктов коррозии металлов, из которых изготовлены составляющие элементы контуров теплоснабжения. Интенсивное солеобразование характерно для водогрейных котлов систем централизованного теплоснабжения, подогревателей воды систем горячего водоснабжения.

Коррозионные процессы и солеотложения на поверхностях теплообмена, транспортировочных контурах систем теплоснабжения ухудшают теплообмен между теплоносителями, что в значительной степени повышает расход энергетических и водных ресурсов.

Борьба с накипеобразованием — одна из основных задач, решаемая в процессе водоподготовки на различных энергообъектах, так как загрязнение поверхностей теплообменного оборудования отложениями минеральных солей приводит к снижению эффективности работы оборудования, а зачастую и выходу его из строя.

Для снижения тенденции образования накипи на поверхностях теплообмена обычно прибегают к обессоливанию воды с помощью ионнообменных установок или стабилизационной обработке воды с помощью ингибиторов солеотложений, в ходе которой в подпиточную воду вводятся химикаты, препятствующие образованию накипи.

Основными недостатками умягчения воды натрий-катионированием являются:

- непрерывное потребление соли, которую на постоянной основе необходимо привозить к котельным, что приводит к дополнительным транспортным и организационным расходам;
- дополнительный расход воды на собственные нужды химводоочистки;
- экологические последствия образования сточных вод с высоким содержанием хлоридов в результате регенерации фильтров. На данный момент данный фактор является основной экологической проблемой при использовании натрий-катионирования, так как экономические затраты на создание системы очистки засоленных сточных вод превышает стоимость самой системы водоподготовки.

Данные недостатки умягчения воды натрий-катионированием диктуют условия для создания новых дешевых и экологически чистых технологических решений для очистки подпиточной воды.

Применение комплексонов для растворения солевых отложений основано на их способности вступать во взаимодействие с ионами металлов в широком диапазоне pH и

образовывать устойчивые водорастворимые комплексы. Для обработки воды присадками типа «комплексоны», которые после добавления их в малых дозах в подпитывающую воду, не меняя жесткости воды, препятствуют накипеобразованию. Действие присадки основано на нарушениях центров кристаллообразования накипи. Разложившиеся при нагревании соли временной жесткости агрегатируются в виде пыли, остаются в воде и выпадают в осадок в зонах с низкой скоростью движения воды. При концентрации присадки, превышающей равновесное значение, начинается процесс отмывки системы водопользования. С этой целью целесообразно применение грязевиков с низкой скоростью движения воды.

Внедрение фосфоросодержащих комплексонов для стабилизационной обработки воды начато в 1970-е годы институтом химических реактивов совместно с уральским теплотехническим научно-исследовательским институтом. Установлено, что ингибирование процесса солеотложений с помощью фосфонатов основано на явлении порогового (или субстехиометрического) эффекта. Явление порогового эффекта было открыто в конце тридцатых годов XX века для гексаметафосфата натрия: в дозах от 1 до 10 миллионных долей он оказался способен задерживать (ингибировать) выделение твердой фазы из пересыщенных растворов карбоната кальция. С этого времен полифосфаты стали широко использоваться в качестве ингибиторов солеотложений в промышленных водооборотных системах. Позже аналогичный эффект был обнаружен у фосфоновых кислот.

Пороговым эффектом называют процесс предотвращения осадкообразования в перенасыщенных растворах неорганических солей, содержащих микродозы (субстехиометрические количества) ингибитора.

Фосфоросодержащие комплексоны (фосфонаты) оказались весьма эффективными для предотвращения осадкообразования таких малорастворимых веществ, как карбонаты, сульфаты и фосфаты кальция. Величина порогового эффекта для фосфонатов варьируется в зависимости от природы осадка и ингибитора. В частности, 1-гидроксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ) эффективна для карбоната кальция, сравнительно малоэффективна в случае сульфата кальция и является одним из самых эффективных ингибиторов осаждения фосфата кальция.

В зависимости от состава ингибируемой воды концентрация ингибитора в воде колеблется в пределах 0,25—2,0 мг/л. С увеличением концентрации кислоты ОЭДФ до 5 — 10 мг/л получен положительный эффект при стабилизационной обработке артезианской воды с карбонатной жесткостью 10,4 мг-экв/л. В растворах с общей щелочностью 14 — 16 ммоль экв/л наблюдалось некоторое помутнение растворов, но кристаллы CaCO3 не были обнаружены. Установлено, что фосфонаты в рекомендуемых концентрациях не усиливают коррозионного воздействия охлаждающей воды на медные сплавы и сталь.

Экспериментально установлено, что фосфонаты вызывают также разрушение уже образовавшихся карбонатных отложений: в присутствии фосфонатов происходит перестройка кристаллов $CaCO_3$, рост отдельных кристаллов приводит к возникновению механических напряжений в слое накипи, что вызывает ее растрескивание. Это явление используют иногда для очистки оборудования «на ходу» т.е. не останавливая его. Из данного факта можно сделать вывод, что при условиях ограниченных водных ресурсов и невозможности остановки теплогенерирующего оборудования в отопительный период, использование комплексонов позволит очистить оборудование от уже сложившихся накипных отложений.

Следует отметить, однако, что эффект этот проявляется в малоизученном диапазоне концентраций. Так же область применения фосфонатов существенно ограничена накипеобразующими свойствами воды и теплотехническими характеристиками оборудования. Кроме того, эффективное действие фосфонатов возможно только при отсутствии кипения.

Несмотря на высокую, подтвержденную многолетней практикой эффективность антинакипинов, применение фосфонатов нередко приводит к отрицательным последствиям

(забивание теплообменных трубок сетевых подогревателей и водогрейных котлов карбонатами кальция и магния). Особенно это характерно для тех случаев, когда внедрением технологии стабилизационной обработки воды занимаются организации, не имеющие необходимой базы для отработки технологии использования фосфонатов на конкретном объекте, не контролирующие в полной мере процесс стабилизационной обработки воды в период внедрения, не учитывающие теплотехнические характеристики объекта.

Для разработчиков технологий применения фосфонатов одним из важнейших инструментов является методика подбора наиболее эффективного ингибитора солеотложений применительно к конкретному объекту.

Одно из непременных условий успешного применения ингибитора — его четкая дозировка. При обработке сетевой воды фосфонатами необходимо обращать внимание на содержание в продукте основного вещества и рассчитывать эффективную рабочую дозу ингибитора именно по этой величине.

Таким образом, для внедрения комплесонатной системы обработки воды систем теплоснабжения необходимо:

- подобрать состав ингибитора и его оптимальную концентрацию для условий конкретного объекта, в котором будет применятся очистка воды комплексонами;
- создать условия, при которых возможна быстрая корректировка концентрации ингибитора в подпиточной воде, так как изменение режима в сторону снижения установленной эффективной концентрации ингибитора может очень быстро привести к отрицательному результату;
- вести очистку подпиточной воды от механических примесей и соблюдать все необходимые для данного объекта антикоррозионные мероприятия.

Список литературы

1. Высоцкий С. П., Гулько С. Е. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации. – Донецк : Каштан, 2014. – 316 с.
2. Дятлова, Н. М. Комплексоны и комплексонаты металлов [Текст] / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, К. И. Попов. – М. : Химия, 1988. – 544 с.
3. Дрикер, Б. Н. Предотвращение минеральных отложений и коррозии металла в системах водного хозяйства с использованием фосфорсодержащих комплексонов [Текст] : дис. …. канд. техн. наук / Дрикер Б. Н. – М., 1991. – 459 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Андрийчук Владислав, Шевцова Татьяна Евгеньевна, Соколов Владимир Ильич. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ. 3

Хегай Владислав Викторович, Набхан Давид Хассан, Головач Юлия Александровна. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СГОРАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ. 9

Золотухина Наталья Викторовна, Дудник Анна Вячеславовна. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗШС И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА CENTRAMENT P40 НА СВОЙСТВА БЕТОНА. 13

Козик Тимур Вячеславович, Орлов Владимир Владиславович, Максимова Наталья Анатольевна. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ. 17

Сеньков Андрей Олегович, Максимова Наталья Анатольевна. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА. 22

Масалкова Дарья Сергеевна, Максимова Наталья Анатольевна. ОЦЕНКА ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ. 25

Комиссаренко Ольга Олеговна, Мережко Павел Евгеньевич, Монах Светлана Игоревна. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА КОЛИЧЕСТВЕННУЮ ОЦЕНКУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА. 29

Комиссаренко Ольга Олеговна, Мережко Павел Евгеньевич, Монах Светлана Игоревна. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ. 33

Лежанко Владислав Дмитриевич, Шацков Артем Олегович. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. 40

Залунина Вероника Владасовна, Петренко Анна Вадимовна, Колосова Нелли Вадимовна. АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СИСТЕМ ОЧИСТКИ МЕТАНА ОТ ПРИМЕСЕЙ ИЗ БИОГАЗА. 44

Слободянюк Яна Руслановна; Максимова Наталья Анатольевна. ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО И ВОЗДУШНОГО РЕЖИМОВ ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМЫ ГИБРИДНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ. 48

Воробьев Владислав Викторович, Двали Леван Юрьевич, Удовиченко Злата Викторовна. ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ. 52

Лазаренко Лидия Владимировна, Захарова Ольга Олеговна, Долгов Николай Викторович. УТИЛИЗАТОРЫ ТЕПЛА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ. 58

Бондарев Петр Николаевич, Кузнецов Александр Эдуардович, Демешкин Валентин Павлович. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПАКТНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПРИТОЧНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ПРИТОЧНЫХ УСТАНОВОК ТА ШВЕДСКОЙ КОМПАНИИ SYSTEMAIR И КОМПАКТНЫХ ПРИТОЧНЫХ АГРЕГАТОВ КП РОССИЙСКОЙ КОМПАНИИ ВЕЗА. 62

Варакин Данил Сергеевич, Семенченко Андрей Игоревич, Савич Дарья Владимировна. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ. 68

СЕКЦИЯ 2. ИНЖЕНЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГОРОДОВ

Машошин Николай Николаевич, Соколенко Максим Андреевич, Григоренко Надежда Ивановна. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МЕТОДА РАСЧЕТА ОБЪЕМА ДОЖДЕВЫХ СТОКОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДОК. 72

Золотухина Наталья Викторовна, Чудина Татьяна Васильевна. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА ТЕХНИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА ИМ. Ю.А. ГАГАРИНА В Г.ТИРАСПОЛЬ. 77

Просяник Николай Владимирович, Соколенко Максим Андреевич, Могукало Анастасия Вадимовна. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД. 86

Ручка Владислав Владиславович, Соловьев Сергей Сергеевич. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ. 92

Мойсеев Даниил Владимирович, Форманюк Людмила Витальевна, Шацков Артем Олегович. ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ. 96

Толкачев Сергей Андреевич, Шацков Артем Олегович. ФРАКЦИОННЫЙ ПРОСКОК ПЫЛИ КАК ОПТИМАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЫЛЕГАЗОУЛОВИТЕЛЕЙ. 103

Прокопенков Вадим Вячеславович, Харанжевич Андрей Николаевич, Долгов Николай Викторович. РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ С НЕПОСТОЯННЫМ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ. 109

Соколов Сергей Владимирович, Кекиш Сергей Евгеньевич, Долгов Николай Викторович. РЕГУЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ. 113

Емельянов Дмитрий Алексеевич. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА ПУТЕМ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД С ВЫСОКИМ СОЛЕСОДЕРЖАНИЕМ..... 118

Полковников Алексей Андреевич, Долгов Николай Викторович. КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ..... 122

Целуйко Артем Васильевич, Балинченко Оксана Иосифовн. ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКА НА ЮГЕ ДНР С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОКНИСТОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ..... 127

Целуйко Артем Васильевич, Круподеров Павел Сергеевич, Балинченко Оксана Иосифовна. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ..... 131

Хапчук Федр Николаевич, Горбатов Андрей Игоревич, Зайченко Людмила Геннадьевна. РЕКОНСТРУКЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА В СТРУКТУРЕ КП «КОМПАНИЯ «ВОДА ДОНБАССА».. 134

СЕКЦИЯ 4. НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ТГВ И БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Вережак Олеся Эдуардовна, Семешко Вячеслав Александрович, Головач Юлия Александровна. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. 138

Якубовский Александр Станиславович, Морозов Владислав Евгеньевич, Головач Юлия Александровна. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ. 141

Короткий Виталий Николаевич, Паньковская Анна Владимировна, Звягина Виктория Сергеевна, Удовиченко Злата Викторовна. ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. 145

Халангот Кирилл Павлович, Василевский Олег Сергеевич. Удовиченко Злата Викторовна. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ УТЕЧЕК ГАЗА..... 150

Дикусар Вадим Михайлович, Красногрудов Александр Васильевич. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ В НЕЖИЛЫХ ОБЪЕКТАХ. 157

Кислов Дмитрий Анатольевич, Проничева Юлия Александровна, Долгов Николай Викторович. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ..... 162

Сапрунова Анастасия Владимировн, Удовиченко Злата Викторовна. АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ..... 166

СЕКЦИЯ 5. ИННОВАЦИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЯХ: ОТОПЛЕНИЯ, ГАЗОСНАБЖЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Бабенко Максим Михайлович, Фесин Андрей Александрович, Копец Карина Константиновна. ТЕПЛЫЙ ПОЛ НА УЛИЦЕ – ПРАКТИЧНОЕ ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ. 171

Юнченко Евгений Викторович, Захаров Михаил Александрович, Монах Светлана Игоревна. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА В НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЯХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЕТРА. 175

Ягмур Вера Николаевна, Волков Геннадий Евгеньевич, Долгов НИКОЛАЙ ВИКТОРОВИЧ. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. 181

Рыбак Данил Эдуардович, Лукьянов Александр Васильевич. КОРРЕКЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ КОМПЛЕКСОНАМИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. 185

СОДЕРЖАНИЕ 188

Научное электронное издание

«ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Электронный сборник статей по материалам IV открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов

(17 марта 2023 г., Макеевка)

Ответственный за издание: ***А. В. Лукьянов***
e-mail: ttgv@donnasa.ru,
d.v.savich@donnasa.ru

Компьютерная вёрстка**:** ***Д. В. Савич, Б. В. Кляус***