

На правах рукописи



ГАЗИЗОВ ФАРИТ НАСИБУЛЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УКРУПНЕННОЙ ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАКРЫТОЙ
СХЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ**

05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2021

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Экономика и организация производства»

**Научный
руководитель:**

доктор технических наук, доцент
Ахметова Ирина Гареевна

**Официальные
оппоненты:**

Николаев Юрий Евгеньевич
доктор технических наук, профессор
Саратовский государственный
Технический университет имени
Ю.А. Гагарина, профессор
кафедры «Тепловая и атомная
энергетика им. А.И. Андрющенко»

Гашо Евгений Геннадьевич
доктор технических наук, доцент
Национальный исследовательский
университет «МЭИ», профессор
кафедры «Промышленные
теплоэнергетические системы»

**Ведущая
организация:**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого», г. Санкт - Петербург

Защита состоится «22» июня 2021 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.082.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ауд. Д-224, тел./факс (843) 519-42-55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с указанием контактных данных и заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, КГЭУ, Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.082.06.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного энергетического университета и на официальном сайте КГЭУ <https://kgeu.ru/Diss/Dissertant/273?idDiss=117>

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ш.Г. Зиганшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

С вступлением в силу 27.07.2010 г. федерального закона №190 «О теплоснабжении» (далее ФЗ-190) большинство теплоснабжающих организаций и органов местного самоуправления столкнулись с вопросом перевода абонентов, подключенных к горячему водоснабжению (далее ГВС) по открытой схеме на закрытую схему приготовления ГВС. Данное обязательство закреплено пунктом 9 статьи 29 ФЗ-190. Принимая во внимание тот факт, что более половины действующих на сегодняшний день в России систем теплоснабжения относятся именно к открытым, вопрос выбора наиболее целесообразного метода перевода на закрытую схему приготовления ГВС стоит достаточно остро.

Существует три принципиально различающихся метода организации закрытой схемы приготовления ГВС:

1. Переустройство двухтрубной тепловой в 4-х трубную тепловую сеть от источника теплоснабжения до конечных потребителей (прокладка дополнительных трубопроводов для ГВС);

2. Внедрение в схему центральных тепловых пунктов (далее ЦТП) с переустройством двухтрубной тепловой сети в 4-х трубную на участках от ЦТП до конечных потребителей;

3. Модернизация индивидуальных тепловых пунктов (далее ИТП) потребителей, путем установки в них подогревателей ГВС.

Специалисты Роспотребнадзора подтверждают необходимость и перспективность перехода на закрытую систему ГВС с точки зрения улучшения гигиенических показателей воды (таких как органолептические показатели горячей воды), а также ее безопасности.

Для горячей воды открытой системы горячего водоснабжения характерны неблагоприятные органолептические свойства (повышенная в 18,2 % проб мутность, в 28,4 % проб цветность, в 55,7 % проб запах) и опасность микробиологического загрязнения.

Специалисты Иркутского государственного технического университета проводят широкий анализ нормативной документации по данной тематике и приводят доказательства перспективности внедрения закрытых систем ГВС.

На сегодняшний день отсутствует какая-либо утвержденная методика укрупненной оценки вариантов перевода на закрытую схему ГВС в масштабе поселений/городов. Единственно возможный на сегодняшний день метод сравнения вариантов и оценки стоимости мероприятий по организации закрытой схемы ГВС – технико-экономическая проработка каждого варианта для отдельно взятого города. Данная работа сама по себе требует существенных затрат, в связи с чем, органы местного самоуправления не готовы ее выполнять. Как следствие, решения, закладываемые в проекты схем теплоснабжения, либо недостаточно обоснованы, либо обоснование принятых решений отсутствует вовсе.

Цель работы заключается в разработке методики определения наиболее целесообразного с технико-экономической точки зрения способа перевода на закрытую схему ГВС отдельно взятого населенного пункта.

Задачами работы являются:

- Систематизация данных по результатам анализа и определение совокупности основных критериев, влияющих на решения по выбору метода организации закрытой схемы ГВС, а также состав предлагаемых мероприятий.

- Выявление зависимостей основных критериев на составляющие расчета итогового результата.

- Разработка методики выбора наиболее целесообразного варианта перехода на закрытую схему приготовления ГВС
- Опытная апробация разработанной методики для сопоставления методов перевода на закрытую схему ГВС.

Научная новизна

1. Разработана методика оценки основных факторов, определяющих выбор вариантов перехода на закрытую схему ГВС потребителей, которая позволяет разработчикам схем теплоснабжения городов принимать решения о выборе вариантов перевода на закрытую схему на основе сведений о действующей системе теплоснабжения, перспективах развития города, условий водоснабжения и топливообеспечения.

2. Использован набор критериев (градусо-сутки отопительного сезона, тип источника, срезка температурного графика и др.) для определения целесообразного варианта перехода на закрытую схему горячего водоснабжения.

3. Зависимости влияния критериев на составляющие расчета итогового результат выбора метода перехода на закрытую схему горячего водоснабжения.

4. На основе предложенных критериев разработан программно-расчетный комплекс для оценки вариантов перевода на закрытую схему ГВС систем теплоснабжения населенных пунктов.

Практическая значимость

1. Разработанная методика позволяет определить наиболее целесообразный вариант перехода на закрытую схему приготовления ГВС в рамках выполнения предпроектных работ, при разработке и актуализации проектов схем теплоснабжения городов.

2. Автором разработан и зарегистрирован программный комплекс «ГВС Оптимум», (регистрационный номер № RU2019618272), применение которого позволяет на этапе предпроектных проработок определить оптимальный вариант перевода на закрытую схему горячего водоснабжения, путем сравнения возможных вариантов. Программный комплекс используется коммерческими организациями (имеется акт внедрения ООО «Невская Энергетика», г. Санкт-Петербург).

3. Применение программного комплекса «ГВС Оптимум» позволило сократить трудозатраты на выполнение технико-экономического сравнения различных вариантов, при апробации на примере города Салават в 10 раз.

4. Научные результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «КГЭУ» в рамках дисциплины «Экономические аспекты энергоаудита».

Положения, выносимые на защиту:

1. Совокупность критериев, влияющих на принятие решения по выбору наиболее целесообразного варианта перехода на закрытую схему ГВС городов.

2. Зависимости влияния критериев на составные части итогового результата выбора метода перехода на закрытую схему горячего водоснабжения.

3. Методика оценки основных факторов, определяющих выбор вариантов перехода на закрытую схему ГВС потребителей.

Достоверность и обоснованность результатов работы

Обусловлены сравнением с результатами полноценных технико-экономических обоснований и аналогичных исследований, а также применением стандартных методик расчетов, современных прикладных программных продуктов и справочных данных.

Личное участие

Основные результаты получены лично автором под руководством д.т.н., доцента Ахметовой Ирины Гареевны.

Апробация работы

Основные положения работы, результаты теоретических и расчетных исследований докладывались на:

- Конференции IX международной школы-семинара молодых ученых и специалистов «Энергосбережение – теория и практика», проводимой ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» с 5 по 12 октября 2018г.;
- XXII международной научно-практической конференции «Технические и физико-математические науки» (2019 г.).
- XII международной научной конференции «Инновации в технологиях и образовании» (2019 г.).
- II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и экономика энергетики» (2019 г.).
- На XX Международной научно-практической конференции «Advances in Science and Technology», г. Москва, 30 апреля 2019г.;
- На Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные Энергетические Системы 2019», проводимой 18-20 сентября 2019 в г. Казань, совместно Казанским государственным энергетическим университетом и Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого.

Публикации

По результатам диссертационного исследования опубликовано 11 работ, в том числе 4 в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и 1 статья в журнале, входящем в Scopus, 2 программы для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 145 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения. Работа содержит 50 рисунков и 15 таблиц, список использованных источников содержит 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность, сформулирована проблематика темы и основные положения диссертации.

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертации, основной задачей которого является обоснование проблематики, анализ существующих схем приготовления ГВС и возможных вариантов реализации перехода на закрытую схему ГВС, сформированы направления, требующие дополнительного исследования.

В главе сделаны выводы о том, что переход на закрытую схему ГВС, помимо требования нормативной документации, необходим для улучшения органолептических и гигиенических свойств горячей воды, а также для повышения её безопасности, что подтверждают специалисты Роспотребнадзора.

Кроме того, в настоящее время присоединения новых потребителей разрешены только по закрытой схеме, то есть, законодательно запрещено подключать новых потребителей к тепловым сетям по открытой схеме. Это также повышает актуальность темы диссертации.

Объем затрат на организацию закрытой системы ГВС, при некорректно выбранном методе перехода на закрытую схему ГВС повлечет существенные убытки как бюджета

разных уровней, так и повысит финансовую нагрузку потребителей горячего водоснабжения, за счет увеличения тарифов.

Анализ оборудования производителей теплообменных аппаратов, показал, что на сегодняшний день применяется несколько типов теплообменного оборудования, отличающегося конструкцией, типоразмерами, стоимостью и затратами на эксплуатацию. Различные компоновки теплообменных аппаратов позволяют адаптировать их под различные конфигурации (размеры) тепловых пунктов зданий, в которых имеются помещения тепловых пунктов.

Во второй главе проводится подробный анализ критериев и граничных условий, применяемых в разработанной методике, предложены формулы и зависимости расчетов каждого из критериев, а также выполнено технико-экономическое объединение каждого из показателей в единую модель.

Для анализа перспективных вариантов перехода на закрытую систему ГВС необходимо оценить критерии, влияющие на выбор каждого из возможных решений. В таблице 1 представлены основные критерии и показатели, на которые они влияют.

Таблица 1 – Основные критерии выбора варианта перевода на закрытую систему ГВС

№	Критерий	Показатель	Примечание
1	Градус-сутки отопительного периода (ГСОП).	Тепловые потери с поверхности трубопровода / гидравлические потери в сетях.	Четырехтрубная система по сравнению с двухтрубной имеет большую поверхность теплообмена с окружающей средой и большую суммарную протяженность тепловых сетей.
2	Тип источника.	ТЭЦ/котельная.	Для ТЭЦ применение четырехтрубной системы является экономически необоснованным.
3	Наличие места для размещения дополнительного оборудования потребителя.	Габариты подвальных помещений жилых зданий.	В случае недостатка свободного пространства или невозможности доступа к нему, монтаж ИТП не представляется возможным.
4	Пропускная способность сетей холодного водоснабжения (ХВС).	Гидравлические потери в сетях.	При переходе на варианты ИТП/ЦТП существенно возрастает нагрузка на сети ХВС. В этом случае для ГВС потребуется либо отдельная ветвь с холодной водой, либо целесообразным становится вариант подключения по четырехтрубной системе.
5	Наличие срезки для ГВС на температурном графике.	Тепловые потери в тепловых сетях	Дополнительный фактор перехода к четырехтрубной системе, где от температурной срезки можно отказаться.
6	Фактическая тепловая нагрузка источника (Пропускная способность тепловых сетей).	Наличие или отсутствие резерва пропускной способности тепловой сети.	Увеличение расхода сетевой воды для вариантов с ЦТП/ИТП по сравнению с четырехтрубной системой и, как следствие, необходимость реконструкции тепловых сетей.
7	Соотношение пиковой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение.	Тепловые потери с поверхности трубопровода / гидравлические потери в сетях.	Четырехтрубная система по сравнению с двухтрубной имеет большую поверхность теплообмена с окружающей средой и большую суммарную протяженность тепловых сетей.
8	Тип грунта и возможность проведения работ.	Плотность городской застройки, благоустройство района, доступ к коммуникация и др.	Стоимость прокладки трубопроводов напрямую зависит от сложности строительно-монтажных работ.
9	Эксплуатационные затраты.	Срок службы трубопроводов и основного оборудования.	Четырехтрубная система в отличие от ЦТП/ИТП не требует регулярного технического освидетельствования и замены основного оборудования (теплообменники, арматура и пр.)

В таблице 1 рассмотрены базовые критерии оценки вариантов перевода на закрытую систему ГВС. Целесообразным является разделение предложенных критериев на две категории:

- граничные условия (по типу логических переменных «истина/ложь»);
- независимые переменные (величина, которых будет меняться в разных проектах и пересчитываться в натуральные или денежные эквиваленты).

На рисунке 1 представлена поясняющая блок-схема для учета граничных условий.

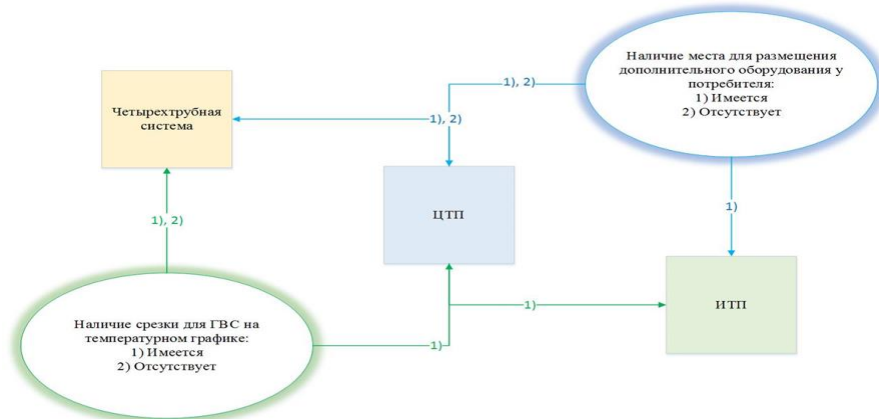


Рисунок 1 – Блок-схема граничных условий

На рисунке 2 представлена поясняющая блок-схема для учета данных независимых переменных. Рассматриваемые критерии включают в себя: градус-сутки отопительного периода (ГСОП), плотность населения, пропускная способность сетей холодного водоснабжения (ХВС), реальная тепловая нагрузка района, соотношение пиковой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение, тип грунта, а также возможность проведения работ и эксплуатационные затраты. Данные независимые переменные представлены на схеме в виде серых квадратов и соединены с показателями, на которые они влияют.

Существенным отличием критериев на рисунке 2 от позиций на рисунке 1 является наличие натурального и, как следствие, денежного эквивалента, позволяющего численно оценить влияние каждой позиции на принятие решения о выборе приоритетной схемы ГВС района. Важной особенностью данной блок-схемы является разделение расходов на капитальные вложения и ежегодные затраты. Второй показатель становится крайне актуальным при сравнении тепловых и гидравлических потерь, а также стоимости ремонтных работ и замены основного оборудования. Далее рекомендуется складывать все экономические показатели за период 25 лет. Такой подход позволит выполнить более объективную оценку вариантов ЦТП/ИТП и четырехтрубной системы, т.к. учитывает номинальные сроки эксплуатации трубопроводного оборудования, которые для металлических изделий составляют 25 лет. Кроме того, заявленный период будет включать капитальные ремонты и замену теплообменного оборудования для решений с установкой тепловых пунктов по типу ЦТП/ИТП.

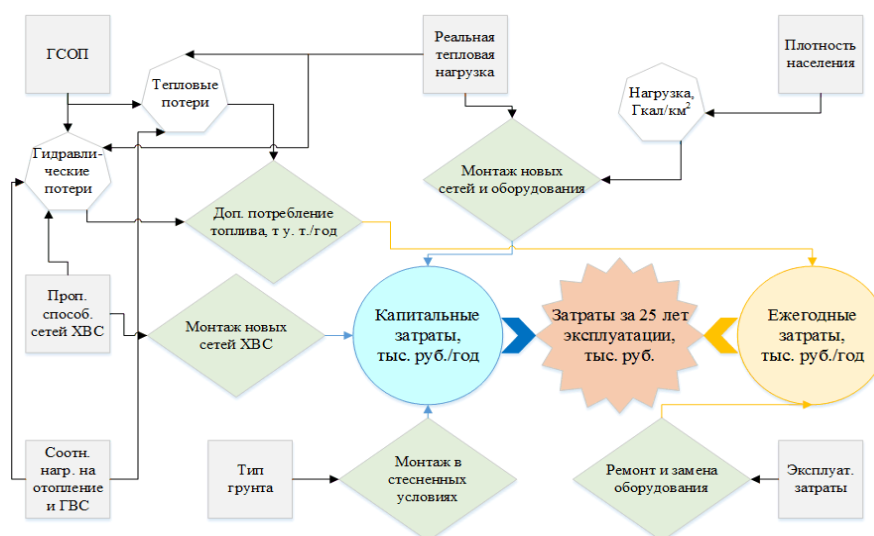


Рисунок 2 – Блок-схема независимых переменных

Итоговым показателем для выбора варианта перехода на закрытую систему, как было отмечено на рисунке 2, являются денежные затраты за 25 лет эксплуатации вновь вводимой или реконструируемой системы теплоснабжения.

В качестве некоторых критериев, влияющих на выбор того или иного варианта перевода на закрытую схему ГВС выше были предложены критерий градусо-суток отопительного периода и наличие нижней «срезки» температурного графика. Оба этих критерия влияют, в первую очередь на соотношение годовых тепловых потерь для каждого из вариантов. Тепловые потери для каждого из вариантов реализации перехода на закрытую схему будут разные. В первую очередь, это связано с тем, что для разных вариантов будет отличаться конфигурация тепловой сети, и, следовательно, площадь поверхности тепловой изоляции трубопроводов, что напрямую влияет на годовую величину тепловых потерь.

Макет расчета тепловых потерь разработан отдельным расчетным модулем, сформированным на базе программного обеспечения MS Office Excel с VBA программированием (рисунок3).

Среднемесячные и среднегодовые температуры наружного воздуха, грунта, сетевой и холодной воды.							
Месяцы	Число часов работы		Температура, °C				
	отопит. период	летний период	грунта	наружного воздуха	подающего трубопровода	обратного трубопровода	холодной воды
Январь	744		5,0	-22,0	85,8	55,6	5,0
Февраль	672		5,0	-19,6	83,0	54,2	5,0
Март	744		5,0	-13,3	73,2	49,4	5,0
Апрель	720		5,0	-3,5	65,0	47,5	5,0
Май	744		5,0	4,1	65,0	53,2	5,0
Июнь		720	5,0	13,0	65,0	40,0	15,0
Июль		744	5,0	16,9	65,0	40,0	15,0
Август		408	5,0	14,0	65,0	40,0	15,0
Сентябрь	720		5,0	7,8	65,0	56,0	5,0
Октябрь	744		5,0	-1,4	65,0	49,6	5,0
Ноябрь	720		5,0	-13,2	73,2	49,4	5,0
Декабрь	744		5,0	-20,3	83,0	54,2	5,0
Среднегодовые значения	6552	1872	5,0	-3,7	71,3	49,4	7,2
Среднесезонные значения	отопит. период		5,0	-9,0	73,1	52,1	5,0
	летний период		5,0	14,8	65,0	40,0	15,0
Температура воздуха в помещении			Температура заполнения ТС				40,0
20,0	ер. год.		Температура на регл.испытания				40,0
20,0	отоп. период		Работа тепловых сетей в летний период циркуляционно? (да/нет)				да
20,0	летний период		Доля массового расхода теплоносителя				0,6

Рисунок 3 – Интерфейс расчетного модуля во вкладке с исходными данными

В общем случае, для связи объемного расхода теплоносителя и тепловой нагрузки используется формула:

$$Q = c \cdot \rho \cdot G \cdot \Delta T; \text{ где:}$$

Q – тепловая нагрузка, Гкал/ч; c – удельная теплоемкость теплоносителя (воды), ккал/(кг·К); ρ – плотность теплоносителя для среднесезонной температуры, кг/м³; G – объемный расход теплоносителя, м³/ч; ΔT – разница температур в подающем и обратном трубопроводах, °С.

Связь объемного расхода теплоносителя с диаметром проходного сечения трубопровода определяется формулой:

$$G = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V; \text{ где:}$$

G – объемный расход теплоносителя, м³/ч; π – число Пи; D – диаметр трубопровода, м; V – скорость теплоносителя в трубопроводе, м/с.

Таким образом, коэффициент приведения диаметров трубопроводов сети отопления к сетям ГВС выглядит следующим образом:

$$K_{\text{пер}} = \frac{D_1}{D_0} = \sqrt{\frac{Q_{\text{ГВС ср}} \cdot 2,4}{Q_{\text{от}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{ГВС ср}}}}; \text{ где:}$$

D_1 – диаметр участка трубопровода сети ГВС, мм; D_2 – диаметр участка трубопровода существующей тепловой, мм; $Q_{\text{ГВС ср}}$ – средняя нагрузка на ГВС, Гкал/ч; $Q_{\text{от}}$ – расчетная отопительная нагрузка, Гкал/ч; $Q_{\text{вент}}$ – расчетная нагрузка на систему вентиляции, Гкал/ч;

Далее, применяя вышеуказанный коэффициент, осуществляется пересчет всех участков двухтрубной тепловой сети для получения укрупненной конфигурации сети ГВС для четырехтрубной схемы.

В таблице 2 сведены результаты расчета суммарных тепловых потерь, включая отопление и горячее водоснабжение для рассматриваемых вариантов в натуральном и денежном выражении при тарифе 2000 тыс. руб./Гкал.

Таблица 2 – Результаты расчета тепловых потерь

№	Город	4-х труб., Гкал/год	ЦТП, Гкал/год	ИТП, Гкал/год	4-х труб., тыс. руб./год	ЦТП, тыс. руб./год	ИТП, тыс. руб./год
1	Краснодар	92826.9	88308.1	136094.8	185653.8	176616.1	272189.6
2	Нефтеюганск	192905.0	181049.0	198986.0	385810.0	362098.0	397972.0
3	Норильск	215433.4	203376.6	210187.5	430866.8	406753.3	420375.1

При изменении численного значения критерия ГСОП, будет возникать перекоп по увеличению (снижению) тепловых потерь для каждого из трех вариантов. Также следует отметить, что чем меньше продолжительность отопительного периода и чем ниже параметры расчетного температурного графика, тем более длительное время система отопления работает в зоне «срезки» отопительного температурного графика.

На рисунке 4, для примера, изображено два температурных графика работы тепловой сети (130/70 и 95/70), построенных в одном поле для одинаковой расчетной температуры проектирования систем отопления.

Оба температурных графика имеют нижнюю «срезку», обеспечивающую требование по температуре ГВС, в соответствии с требованием СанПиН. На рисунке видно, что для температурного графика 95/70, зона «срезки» лежит в пределах температуры наружного воздуха минус 6°С и выше. Для графика 130/70, зона «срезки» значительно меньше и начинается с температуры плюс 2 °С и выше. Следовательно, продолжительность работы в зоне нижней «срезки» для графика 95/70 будет значительно больше.

Для оценки возможности перевода на закрытую схему ГВС путем реконструкции ИТП, с точки зрения наличия резерва пропускной способности, предлагается использовать следующее неравенство:

$$\frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{ГВС ср расч}} + Q_{\text{ов расч}}} \leq K_{\text{зак_2хтр}}, \text{ где:}$$

$Q_{\text{ов_расч}}$ – расчетная отопительно-вентиляционная нагрузка, Гкал/ч; $Q_{\text{гвс_ср_расч}}$ – расчетная средняя нагрузка на ГВС, Гкал/ч; $Q_{\text{факт}}$ – фактическая суммарная нагрузка, присоединенная к источнику (определяется в соответствии с постановлением Правительства РФ №154 от 22.02.2012), Гкал/ч.

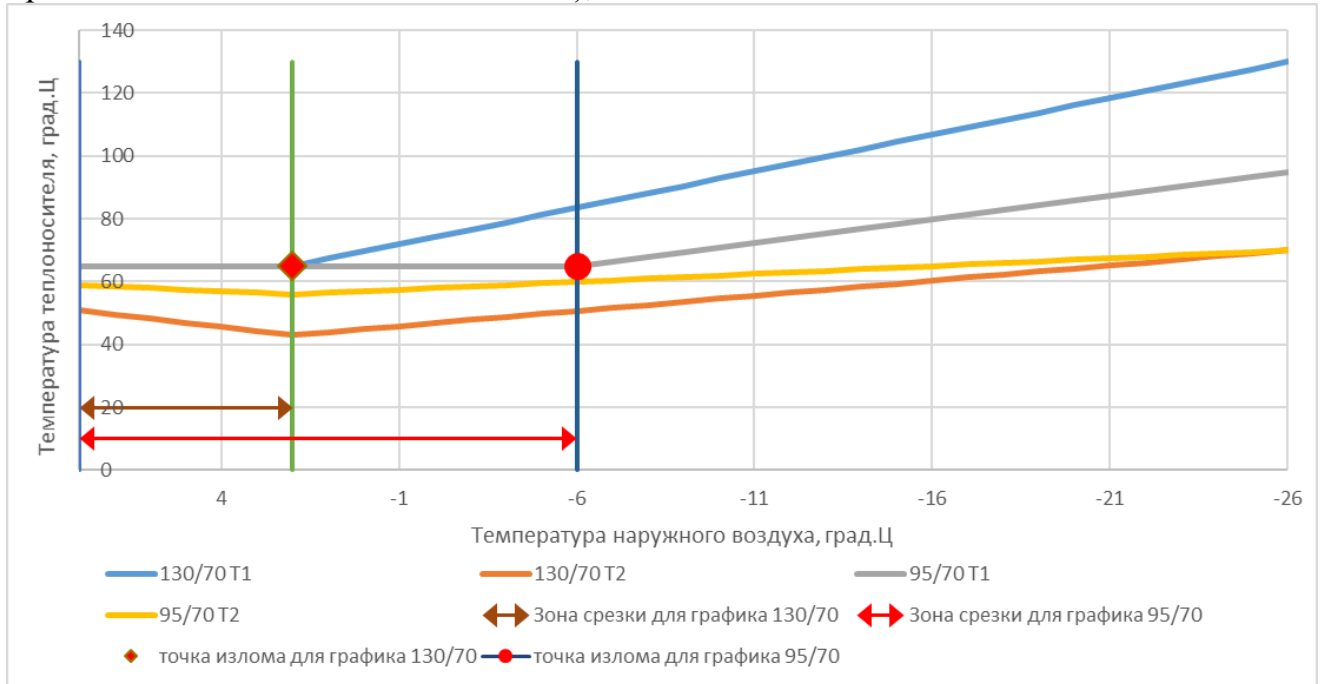


Рисунок 4 - Температурные графики 130/70 и 95/70

Данный параметр предлагается использовать как граничное условие для варианта с переводом на закрытую схему ГВС, путем модернизации ИТП абонентов.

Принцип расчета основан на пересчете расхода теплоносителя, относительно существующих, путем применения корректирующих коэффициентов. Для существующей двухтрубной тепловой сети с открытым водоразбором, коэффициент принимается равным 1. Для варианта с переводом на закрытую схему ГВС путем реконструкции ИТП, расходы теплоносителя возрастут из-за снижения разницы температур греющей среды, для приготовления ГВС в теплообменном аппарате. Так, для приготовления ГВС по открытой схеме, наиболее распространенная (типовая) разница температур соответствует 60 °С (исходя из температуры нижней срезки на уровне 65 °С и температуры подпиточной воды на источнике 5 °С). При двухтрубной закрытой схеме, типовая разница температур снижается до 30 °С (исходя из температуры нижней срезки при закрытой схеме на уровне 70 °С и температуры обратной сетевой воды 40 °С).

Для обеспечения одинаковой нагрузки на ГВС при прочих равных условиях, для закрытых двухтрубных систем необходимо обеспечить повышенный расход теплоносителя, который можно численно оценить по следующей формуле:

$$K_{\text{ИТП}} = \frac{G_{\text{ов}} + G_{\text{гвс_зак_2хтр}}}{G_{\text{ов}} + G_{\text{гвс_откр}}} = \frac{\frac{Q_{\text{ов}}}{(T_{1_расч} - T_{2_расч})} + \frac{Q_{\text{гвс_ср}}}{(T_{1_зак_2хтр} - T_{2_зак_2хтр})}}{\frac{Q_{\text{ов}}}{(T_{1_расч} - T_{2_расч})} + \frac{Q_{\text{гвс_ср}}}{(T_{1_откр_2хтр} - T_{\text{хвс}})}} = \frac{\frac{Q_{\text{ов}}}{(95-70)} + \frac{Q_{\text{гвс_ср}}}{(70-40)}}{\frac{Q_{\text{ов}}}{(95-70)} + \frac{Q_{\text{гвс_ср}}}{(65-5)}}$$

$\frac{12 \cdot Q_{\text{ов_расч}} + 10 \cdot Q_{\text{гвс_ср_расч}}}{12 \cdot Q_{\text{ов_расч}} + 5 \cdot Q_{\text{гвс_ср_расч}}}$; где:

$T_{1_расч}$ – расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе (принимается для каждого температурного графика отдельно. В данном примере 95 °С для графика 95/70), °С; $T_{2_расч}$ – расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе (принимается для каждого температурного графика отдельно. В данном

примере 70 °С для графика 95/70), °С; $T_{1_зак_2хтр}$ – температура теплоносителя в подающем трубопроводе при закрытой двухтрубной системе теплоснабжения при наиболее нагруженном режиме (принимается 70 °С), °С; $T_{2_зак_2хтр}$ – температура теплоносителя в обратном трубопроводе при закрытой двухтрубной системе теплоснабжения при наиболее нагруженном режиме (принимается 40 °С), °С; $T_{1_откр_2хтр}$ – минимальная температура теплоносителя в подающем трубопроводе для обеспечения требования СанПиН при открытой двухтрубной системе теплоснабжения (принимается для каждого температурного графика отдельно. В данном примере 95 °С для графика 95/70), °С; $T_{хвс}$ – температура холодной (подпиточной) воды в отопительный период (принимается 5 °С), °С.

Результаты моделирования пропускной способности водопроводных сетей сведены в график, проиллюстрированный на рисунке 5.

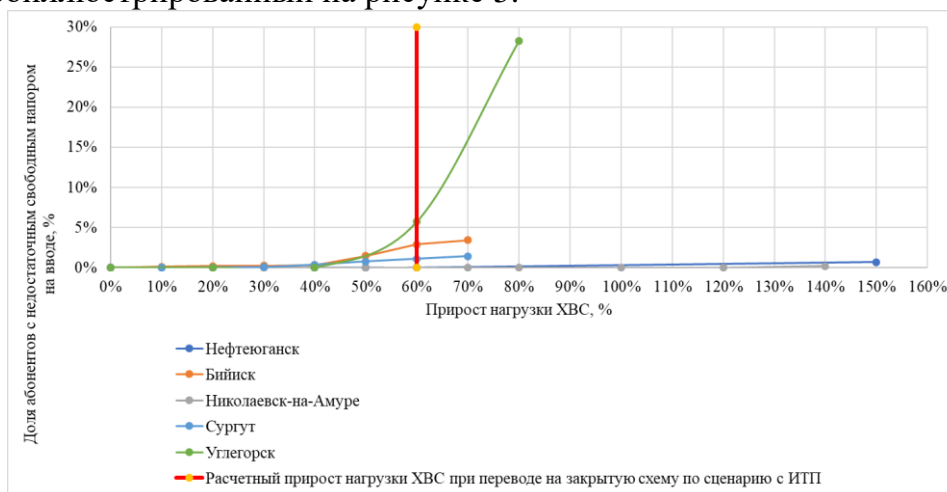


Рисунок 5 – Результаты моделирования увеличения нагрузки ХВС

Результат ступенчатого увеличения расхода ХВС на потребителях показал, что при увеличении водоотбора до 60%, доля абонентов со сниженными параметрами напора не превышает 5%, что является признаком наличия ограничений пропускной способности на конечных участках сети ХВС (вводах потребителей). Таким образом, для оценки целесообразности перевода на закрытую схему ГВС посредством реконструкции ИТП по второму признаку, должно выполняться неравенство:

$$\frac{Q_{ГВС_ср}}{60 \cdot G_{ХВС}} \leq 1,6.$$

Заключительным показателем является эксплуатационные затраты по ремонту и замене основного и вспомогательного оборудования. Считается, что трубопроводы и арматуры имеют срок службы не менее 25 лет. Поэтому в рассматриваемом интервале замены могут подлежать в основном теплообменное и нагнетательное оборудование, а также контрольно-измерительные приборы. В качестве среднего показателя стоимости ремонта и замены оборудования за период эксплуатации равный 25 лет может считаться величина равная 100 % от первоначальных капитальных затрат, что соответствует полноценной замене. Зависимости, определенные в главе, представлены в графическом или математическом виде. Показателем точности уравнения регрессии находится в пределах от 0,9 до 1, что свидетельствует об удовлетворительной точности уравнений.

В третьей главе приведено описание разработанной программной модели.

В разрабатываемой методике и компьютерной программе учитываются практические результаты, полученные в предыдущих главах.

Программная модель состоит из 7 отдельных расчетных элементов, взаимосвязанных между собой активными ссылками, в том числе:

1. Модель расчета.

Данная расчетная часть программной модели является обобщающим расчетом, где формируются сводные данные по результатам расчетов технико-экономических показателей для каждого из трех вариантов организации закрытой схемы ГВС.

2. Отопление-вентиляция 2-хтрубная схема.

Данный расчетный элемент содержит массив данных по характеристикам существующей двухтрубной тепловой сети с учетом теплогидравлических режимов их работы в течение отопительного и межотопительного периода.

В качестве исходных данных используются параметры по участкам, такие как: диаметр, материал изоляции, год ввода, тип прокладки, протяженность.

В качестве климатических параметров используются данные по ГСОП, среднемесячным температурам наружного воздуха и грунта.

Помимо указанных данных, для расчета используются: температурный график тепловой сети в отопительный и межотопительный период (среднемесячные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах), температура холодной воды, число часов работы тепловой сети (с учетом регламентных работ в межотопительный период), сведения о тупиковой или циркуляционной работе тепловой сети в межотопительный период.

Для каждого типа прокладки, типа изоляции и диаметра, разработаны расчетные таблицы с удельными часовыми тепловыми потерями.

Результатом расчета данного элемента программной модели является суммарные значения годовых тепловых потерь для всех тепловых сетей при варианте организации закрытой схемы ГВС путем установки ИТП.

3. Отопление-вентиляция до центральных тепловых пунктов

Все последующие элементы основаны на тех же данных и зависимостях, что и элемент «Отопление-вентиляция 2-хтрубная схема», описанный выше, за исключением режима работы (число часов работы, температурный график).

4. Отопление-вентиляция от центральных тепловых пунктов

5. Горячее водоснабжение от центральных тепловых пунктов

6. Отопление-вентиляция, 4-хтрубная схема

7. Горячее водоснабжение, 4-хтрубная схема

Схема взаимосвязи отдельных элементов проиллюстрирована на рисунке 6.

Результатирующим показателем алгоритма математической модели является определение наиболее целесообразного варианта перевода на закрытую схему ГВС путем поиска минимального значения из трех рассчитанных суммарных весовых коэффициентов:

$$f(K) = \min\{K_{итп} + K_{цтп} + K_{4х}\}; \text{ где:}$$

$K_{итп}$ – суммарный весовой коэффициент варианта с ИТП; $K_{цтп}$ – весовой коэффициент варианта с ЦТП; $K_{4х}$ – суммарный весовой коэффициент варианта с 4-хтрубной сетью.

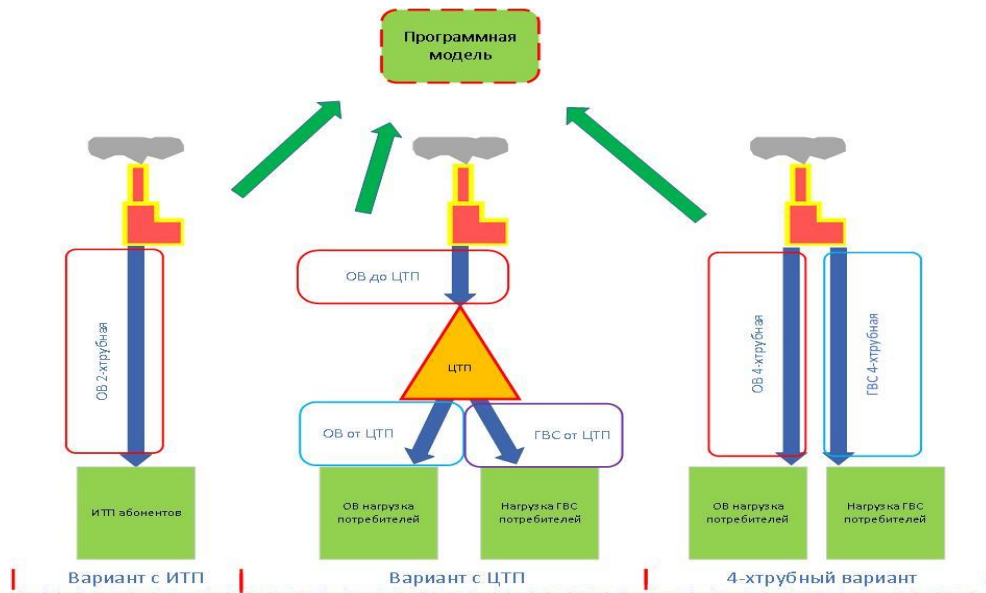


Рисунок 6 – Структура элементов программной модели

Суммарный весовой коэффициент для каждого из вариантов определяется исходя из принятого соотношения: Весовой коэффициент, равный 1 соответствует приведенным затратам в размере 100 млн.руб.

$$K_i = \frac{ПЗ_i}{100}; \text{ где:}$$

$ПЗ_i$ – суммарные приведенные затраты за 25 лет для каждого из вариантов, млн.руб.; Приведенные затраты определяются для каждого из вариантов по следующей формуле:

$$ПЗ_i = Z_{т.пот.i} + Z_{г.пот.i} - Z_{пог.рег.i} + Z_{тс.i} + Z_{оборуд.i} + Z_{аморт.i}, \text{ где:}$$

$Z_{т.пот.i}$ – изменение затрат на тепловые потери, относительно варианта с открытой схемой ГВС, приведенные к 25 годам, млн.руб; $Z_{г.пот.i}$ – изменение затрат на гидравлические потери, в сравнении с открытой схемой ГВС, приведенные к 25 годам, млн.руб; $Z_{г.пот.i}$ – снижение затрат на топливо, связанное с внедрением погодного регулирования, относительно варианта с открытой схемой ГВС, приведенное к 25 годам, млн.руб; $Z_{тс.i}$ – капитальные затраты на строительство дополнительных сетей ГВС, в сравнении с открытой схемой ГВС, млн.руб; $Z_{оборуд.i}$ – капитальные затраты на строительство/реконструкцию объектов систем теплоснабжения (кроме линейных), млн.руб; $Z_{аморт.i}$ – повышение затрат на амортизационные отчисления, (для новых объектов), в сравнении с открытой схемой ГВС, приведенные к 25 годам, млн.руб;

Изменение затрат на тепловые потери, рассчитываются исходя из увеличения тепловых потерь через изоляцию сетей (связанную с увеличением материальной характеристики при прокладке новых сетей ГВС и изменением времени работы сети) и рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{т.пот.i} = \frac{25 \cdot \Delta Q_{т.пот.i} \cdot T_{тэ}}{10^6}, \text{ где:}$$

$\Delta Q_{т.пот.i}$ – изменение годовых тепловых потерь, относительно варианта с открытой схемой ГВС, Гкал; $T_{тэ}$ – тариф на тепловую энергию, руб./Гкал.

Изменение затрат на гидравлические потери, рассчитываются исходя из изменения расхода электроэнергии на перекачивание теплоносителя (из-за увеличения протяженности сетей ГВС и изменения режима работы сети) и рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{г.пот.i} = \frac{25 \cdot \Delta P_{г.пот.i} \cdot T_{ээ}}{10^6}, \text{ где:}$$

$\Delta P_{г.пот.i}$ – изменение годового расхода электроэнергии, затрачиваемой на перекачивание теплоносителя, относительно варианта с открытой схемой ГВС, определенный в соответствии с п.2.2.2, кВтч; $T_{ээ}$ – тариф на электроэнергию, руб./кВтч.

Снижение затрат на топливо, связанное с внедрением погодного регулирования рассчитывается по формуле

$$Z_{пог.рег.i} = \frac{25 \cdot \Delta M_i \cdot T_{топл}}{10^3}, \text{ где:}$$

ΔM_i – годовая экономия топлива за счет внедрения индивидуальных систем погодного регулирования, определенная в соответствии с п.2.2.6, т.у.т; $T_{топл}$ – тариф на топливо, тыс.руб./т.у.т.

Капитальные затраты на строительство новых сетей ГВС рассчитывается по формуле

$$Z_{тс.i} = \frac{\sum_{j=1}^n L_j \cdot S_j}{10^3}, \text{ где:}$$

L_j – протяженность новых сетей ГВС определенного диаметра, км; S_j – удельный норматив цен строительства сетей каждого диаметра, тыс.руб./км.

Капитальные затраты на строительство новых объектов (ИТП, ЦТП и др.), рассчитывается по формуле

$$Z_{оборуд.i} = \frac{\sum_{k=1}^m N_k \cdot S_k}{10^3}, \text{ где:}$$

N_k – количество однотипных объектов для выбранного k -го объекта, ед; S_k – удельный норматив цен строительства k -го объекта для выбранного i -го варианта, тыс.руб./ед.

Приведенные затраты на увеличение амортизационных отчислений за счет ввода новых объектов, определяются в размере 4% в год от начальной стоимости оборудования, из расчета 25 летнего срока жизненного цикла.

$$Z_{аморт.i} = 25 \cdot (Z_{оборуд.i} + Z_{тс.i}) \cdot 0,04, \text{ где:}$$

N_k – количество однотипных объектов для выбранного k -го объекта, ед; S_k – удельный норматив цен строительства k -го объекта для выбранного i -го варианта, тыс.руб./ед.

В результате проведенных теоретических исследований были получены:

1. Программная модель расчета основных критериев (тепловые и гидравлические потери, затраты на оборудование и пр.).

2. На базе MS Excel разработан программный комплекс «ГВС Оптимум», предназначенный для выбора варианта перевода на закрытую схему на основе общих сведений о действующей системе теплоснабжения, параметрах развития города, условий водоснабжения и топливообеспечения.

3. Программно-расчетный комплекс выбора варианта перевода на закрытую схему горячего водоснабжения городов зарегистрирована под наименованием «ГВС Оптимум», (регистрационный номер № RU2019618272).

4. Разработанный программно-расчетный комплекс позволяет выполнить расчет, аналогичный технико-экономическому обоснованию, с экономией времени и трудозатрат в 10 раз.

5. Программно-расчетный комплекс реализован на основе утвержденной методики Минэнерго (в части расчета тепловых потерь), а также на основе авторской методики (в части моделирования конфигурации тепловой сети по трем возможным вариантам перехода на закрытую схему ГВС; оценки изменения гидравлических потерь; расчета изменения стоимости работ, в зависимости от типа грунта; оценки эксплуатационных затрат; оценочного расчета затрат на оборудование и расчета

совокупных приведенных затрат) на основе выбранных критериев. Это позволяет качественно оценить долю каждого критерия в итоговых затратах при реализации реконструкции системы теплоснабжения.

В четвертой главе проводится апробация методики перевода на закрытую схему ГВС на примере г. Салавата. В городском округе г. Салават преобладает централизованное теплоснабжение, которое осуществляется от Салаватской ТЭЦ и котельного цеха №10 «БашРТС-Стерлитамак». Салаватская ТЭЦ и котельный цех №10 работают на природном газе, резервным топливом является мазут. График регулирования в водяных тепловых сетях 150/70 °С со срезом на 130 °С при температуре ниже -26 °С. В летний период тепловая нагрузка горячего водоснабжения КЦ-10 переводится на Салаватскую ТЭЦ. В рамках решения поставленной задачи в г. Салават необходимо перевести на закрытую схему ГВС: 965 многоквартирных жилых дома; 236 потребителей частного сектора; 154 потребитель социальной сферы; 112 промышленных потребителей.

Вариант №1: По результатам обследования тепловых пунктов абонентов выявлены габариты свободного места для возможного размещения установок приготовления горячей воды. Вариант №1 предполагает установку теплообменного оборудования горячего водоснабжения непосредственно у потребителей рядом с вводом тепловой сети в здании. Вариант №2: Аналогичен варианту №1 за исключением решений по переводу 236 потребителей частного сектора (кварталы 1,2,3,4,9,16, пос. Мусино, ж. р-н. «Желанный»). Поскольку такие потребители находятся удаленно от источника теплоснабжения, имеют небольшую нагрузку отопления и горячего водоснабжения – рекомендуется перевести их на индивидуальное газовое теплоснабжение (отопление и ГВС). Вариант №3: Предполагает перевод ряда потребителей путем строительства ЦТП на свободных площадях, определенных в результате обследования, а также строительство трубопроводов ГВС. В местах где отсутствуют площади под размещение ЦТП потребителей планируется подключить по решениям варианта №1 с установкой теплообменного оборудования для приготовления ГВС у потребителей.

Наиболее целесообразным вариантом перевода системы горячего водоснабжения с открытой системы на закрытую, на основе разработанной методики, является вариант №1 – установка теплообменного оборудования горячего водоснабжения непосредственно у потребителей (вариант с ИТП).

Разработанная методика подтвердила свою применимость в сравнении с подробным технико-экономическим обоснованием.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе предложена укрупненная методика определения оптимального способа перевода на закрытую схему ГВС отдельно взятого населенного пункта. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Анализ основных факторов, влияющих на решения по выбору метода организации закрытой схемы ГВС показал, что основное влияние на итоговый показатель оказывают такие параметры, как ГСОП, капитальные затраты на строительство новых объектов, эксплуатационные затраты, параметры температурного графика и наличие срезки для ГВС.

- По результатам систематизации данных выявлена следующая зависимость конечного результата от изменения каждого критерия. При снижении параметра ГСОП, приведенные затраты варианта с ИТП увеличиваются, а для 4-трубной системы снижаются. Более высокие параметры отопительного температурного графика снижают целесообразность варианта с ИТП, за счет снижения длительности работы системы в зоне

нижней срезки. Увеличение капитальных затрат на строительство и эксплуатационных затрат снижает целесообразность варианта с ЦТП и еще больше 4-трубного варианта.

- Анализ современных тенденций повышения эффективности энергетических систем «источник – тепловые сети – потребитель ГВС» показал, что на сегодняшний день, основными направлениями повышения эффективности на практике являются: использование водосберегающей водоразборной арматуры у потребителей, применение современных типов теплообменного оборудования и изоляции трубопроводов (ППУ), использование современных технологий сжигания топлива на источниках, а также понижение температурного графика для снижения тепловых потерь на сетях (следствие утепления зданий и снижения тепловой нагрузки отопления).

- Наиболее целесообразным вариантом перевода системы горячего водоснабжения с открытой системы на закрытую для города Салавата, на основе представленных в третьей главе критериев, является вариант №1 – установка теплообменного оборудования горячего водоснабжения непосредственно у потребителей рядом с вводом тепловой сети в здании. Данный вариант предполагает более чем на 10% ниже приведенную стоимость его реализации, по сравнению с альтернативными вариантами организации закрытой схемы ГВС. Разработанная методика и математическая модель подтвердила свою применимость при сравнении с подробным технико-экономическим обоснованием.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Кикоть Е.А., Газизов Ф.Н. Выбор структуры тепловой генерации в городах РФ при актуализации схем теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Том 22, №5. С. 71-82.
2. Амосов Н.Т., Строгонов К.В., Федюхин А.В., Газизов Ф.Н. Оценка технических показателей применения композитных и металлических трубопроводов // Computational nanotechnology. 2018. № 3. С. 73 – 90.
3. Газизов Ф.Н. Анализ перспектив перехода на закрытую систему горячего водоснабжения // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 3. С. 115 – 122.
4. Gazizov F.N., Akhmetova I.G. Development of technique and program for analysis of options for transition to a closed hot-water supply scheme for heat supply systems // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 3. С. 126-134.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS

5. Naimov A., Sinitsyn A., Gazizov F., Eperin A.P., Rundygin Yu.A., Agasiant G.A., Galileev S.M., Akhmetov T.R. Mathematical modeling of heating temperature mode for a heat exchange system of the type "pipe in pipe" // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Proceedings of the Conference the international scientific conference "Efficient waste treatment – 2018" (EWT-2018). 2019. С. 012068.

Публикации в других изданиях

6. Газизов Ф.Н. Перспективы и проблематика широкого внедрения закрытой схемы приготовления ГВС в населенных пунктах Российской Федерации // Энергосбережение – теория и практика: Труды Девятой Международной школы – семинара молодых ученых и специалистов (2018 г., Москва). – М.: Издательский дом МЭИ. 2018. С. 537 – 541.
7. Газизов Ф.Н. Выбор критериев для анализа вариантов перевода на закрытую схему ГВС существующих систем теплоснабжения // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XXII междунар. науч.-практ. конф. 2019. № 3(22). — М., Изд. «МЦНО». — С. 4-9.
8. Газизов Ф.Н. Апробация методики перевода на закрытую схему ГВС при разработке схем теплоснабжения городов // Сб. ст. участников XII Международной научно-практической конференции «Инновации в технологиях и образовании», 2019. Часть 1. С. 269 – 273.
9. Газизов Ф.Н., Ахметова И.Г. Анализ вариантов перевода на закрытую схему ГВС на основании разработанной методики укрупненной технико-экономической оценки // Advances in Science and Technology сборник статей XX международной научно-практической конференции. 2019. С. 102-103.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

10. Ахметова И.Г., Мухаметова Л.Р., Газизов Ф.Н. Программный комплекс «ГВС Оптимум» // Рег. номер № RU 2019618272. 2019.
11. Газизов Ф.Н. Программа оптимизации режимов работы групп гидравлически связанных насосных станций // Рег. номер № RU 2019661449. 2019.

Подписано в печать 20.04.2021. Форм. бум. 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100. Заказ № 2004/1.

Отпечатано с готового оригинал – макета
в типографии «Вестфалика» (ИП Колесов В.Н.)
420111, г. Казань, ул. Московская, 22. Тел.: 292-98-92
e-mail: westfalika@inbox.ru
