



Применение информационно-вычислительных технологий для обоснования проектных решений по реконструкции и развитию теплоснабжающих систем и разработке мероприятий по их внедрению

З.И. Шалагинова^{1✉}, В.В. Токарев²

^{1,2}Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Аннотация. Статья посвящена экспертизе проекта реконструкции теплоснабжающей системы г. Петропавловск-Камчатский. За последнее десятилетие произошли большие изменения в объемах и структуре теплопотребления, в результате чего одна из тепловых магистралей оказалась перегружена и не может полностью обеспечить все питающиеся от нее центральные тепловые пункты требуемым количеством тепла. Для нормализации теплоснабжения города и повышения надежности было принято решение о реконструкции системы теплоснабжения, предусматривающей замкнутую магистральную тепловую сеть. При реконструкции теплоснабжающих систем – изменении топологии сетей, состава оборудования, нагрузок потребителей, предусмотренных проектом – требуется разработка и организация новых эксплуатационных режимов функционирования и наладочных мероприятий с учетом новых условий эксплуатации. Сложность разработки эксплуатационных режимов требует привлечения информационно-вычислительных технологий. Экспертиза проекта и организация режимов работы тепловых сетей проводились с помощью разработанного в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук информационно-вычислительного комплекса «АНГАРА-ТС». Для выполнения расчетов была актуализирована разработанная ранее многоуровневая компьютерная модель с учетом изменений в структуре тепловых сетей, подключения новой насосной станции и перспективных нагрузок. Исследование выполнено в рамках государственного задания (№ FWEU-2021-0002, Рег. № АААА-А21-121012090012-1) Программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг.

Ключевые слова: теплоснабжающая система, эксплуатационный режим, теплогидравлический расчет, компьютерное моделирование, информационно-вычислительный комплекс

Для цитирования: Шалагинова З.И., Токарев В.В. Применение информационно-вычислительных технологий для обоснования проектных решений по реконструкции и развитию теплоснабжающих систем и разработке мероприятий по их внедрению // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 320–335. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-320-335>. EDN: JRSLHF.

Original article

Use of information-computer technologies for justification of design decisions on reconstruction and development of heat supply systems and measures for their implementation

Zoya I. Shalaginova^{1✉}, Vyacheslav V. Tokarev²

^{1,2}Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Abstract. This paper discusses the expert evaluation of a reconstruction project for the heat supply system in Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation. The past decade has seen significant changes in volumes and structure of heat consumption, which resulted in overloading of one of the main heat

pipelines and its inability to provide all the respective heat supply stations with the required amount of heat. In order to normalize heat supply to the city and improve reliability, a decision was taken on reconstructing the heat supply system providing connections between the main heating systems. When reconstructing heat supply systems, i.e., changing network topology, equipment configuration, and consumer loads stipulated by a project, the development and organization of new operating modes and adjustment measures taking into account new operating conditions are required. Difficulties in the development of operating modes requires the use of information-computer technologies. The project expertise and organization of operating modes of heat networks were carried out using information computing complex "ANGARA-HS" developed in the Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. To carry out calculations, a previously developed multi-level computer model was used taking into account changes in the structure of heat networks, connection of a new pumping station, and prospective loads. The research was carried out within the state order (№ FWEU-2021-0002, registration no. № AAAA-A21-121012090012-1) of the Fundamental research program of Russian Federation for 2021–2030 years.

Keywords: heat supply system, operating conditions, thermal hydraulic calculation, computer modeling, information and computing complex

For citation: Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Use of information-computer technologies for justification of design decisions on reconstruction and development of heat supply systems and measures for their implementation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):320-335. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-320-335>. EDN: JRSLHF.

ВВЕДЕНИЕ

Современные теплоснабжающие системы (ТСС) мегаполисов и крупных промышленных центров – высокотехнологичные инфраструктурные комплексы, представляющие собой сложную совокупность взаимосвязанных элементов, работающих в режиме синхронизированного взаимодействия. Они включают километры тепловых сетей, десятки котельных и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), различные насосные станции, узлы учета и регулирования, которые объединены в единую, часто иерархическую, систему. Эти обстоятельства вызывают сложности в организации режимов. При проектировании систем теплоснабжения выполняются поверочные расчеты потокораспределения на агрегированных схемах. Качество принимаемых решений напрямую зависит от масштабов и сложности как самой теплоснабжающей системы, так и степени детализации при агрегировании. Как правило, рассматриваются только магистральные сети с обобщенными перспективными нагрузками без учета тепловых режимов. Однако обеспечение потребителей расчетным расходом воды не означает получения ими требуемого количества тепла, которое можно обеспечить различными сочетаниями расхода и температуры. Это обстоятельство требует расчета теплогидравлических режимов. Вопросам моделирования теплогидравлических режимов посвящено немало работ как в России, так и за рубежом [1–15]. При моделировании достаточно часто используются различные приемы упрощения и

понижения размерности привлекаемых моделей на уровне упрощения расчетных схем. Такие способы ориентированы на специальные свойства задач проектирования, реконструкции, оперативного управления, привлекаемых моделей стационарных или динамических режимов, целей моделирования. Для экспертизы проекта реконструкции магистральных сетей использовался прием многоуровневого моделирования с привлечением методов декомпозиции и агрегирования как расчетных схем, так и задач [1].

При реконструкции ТСС, изменении топологии сетей, состава оборудования, нагрузок потребителей, предусмотренных проектом, требуется разработка и организация новых эксплуатационных режимов функционирования и наладочных мероприятий с учетом новых условий эксплуатации.

Сложность разработки эксплуатационных режимов требует привлечения информационно-вычислительных технологий. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) на протяжении многих лет, начиная с 2008 по 2023 г., ведет плодотворное сотрудничество с ПАО «Камчатскэнерго» и ее филиалами «Камчатские ТЭЦ» и «Коммунальная энергетика».

В указанный период были проведены различные работы, в ходе которых была разработана графическая база данных (ГБД) для распределительных и магистральных тепловых сетей. На персональных вычислительных

устройства заказчика установлены информационно-вычислительная среда (ИВС) «АНГАРА» и программно-вычислительный комплекс (ПВК) «АНГАРА-ТС», разработанные в ИСЭМ СО РАН [16, 17].

В составе ПВК передано программное обеспечение для расчета гидравлических и тепловых режимов, построения пьезометрических и температурных графиков, расчета сужающих устройств и анализа допустимости режимов. В 2017 г. по заказу филиала ПАО «Камчатскэнерго» «Коммунальная энергетика» ИСЭМ СО РАН разработал полномасштабную модель существующих и перспективных систем теплоснабжения г. Петропавловск-Камчатский.

Модель учитывает как задачи планирования развития энергосистемы в целом, так и расчетно-аналитические задачи, стоящие пе-

ред эксплуатирующими организациями, включая автоматизацию теплогидравлических расчетов для теплосетей. В дополнение к имеющейся единой корпоративной компьютерной ГБД, были созданы базы по тепловым сетям от 14 котельных филиала ПАО «Камчатскэнерго» «Коммунальная энергетика». В 2023 г. проведена актуализация существующей ГБД по системе теплоснабжения г. Петропавловска-Камчатского с учетом произошедших изменений в структуре и параметрах тепловых сетей, была проведена настройка модели первого контура с учетом закольцовки тепловых магистралей (ТМ) ТМ-2 и ТМ-3.

МЕТОДЫ

Характеристика системы теплоснабжения г. Петропавловск-Камчатский

Город расположен на сопках и имеет большую разбросанность на местности (рис. 1).



Рис. 1. Вид на г. Петропавловск-Камчатский
Fig. 1. View of Petropavlovsk-Kamchatsky

Система теплоснабжения представляет собой сложный пространственный объект с высокой размерностью и иерархической структурой, объединяющей множество разнородных элементов.

Теплоснабжение осуществляется двумя Камчатскими теплоэлектроцентралями (КТЭЦ) и более 30 котельными. Система на уровне магистральных сетей является закрытой, независимой, при этом распределительные сети подключаются к магистральным че-

рез теплообменники, размещенные в центральных тепловых пунктах (ЦТП). В городе функционирует 86 ЦТП. Тепловые сети вторичного контура имеют частично двухтрубную прокладку, частично четырехтрубную. На магистральные тепловые сети первого контура работают два источника тепла ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, которые до проекта закольцовки работали независимо на отдельные магистрали. ТМ-1 и ТМ-2 питаются от КТЭЦ-1, ТМ-3 от КТЭЦ-2 (рис. 2).

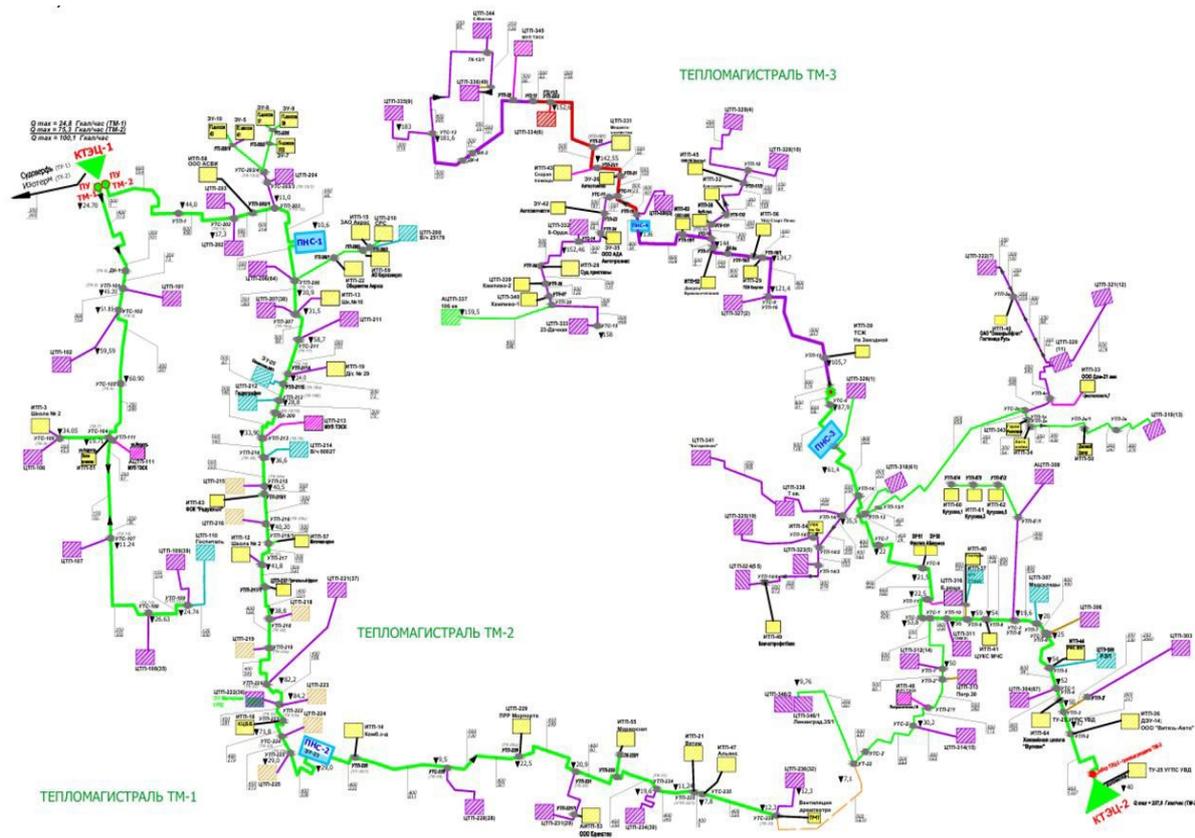


Рис. 2. Условная схема теплоснабжения г. Петропавловск-Камчатский от КТЭЦ-1 и КТЭЦ-2
Fig. 2. Conventional diagram of heat supply to Petropavlovsk-Kamchatsky from Kamchatka CHPP-1 and Kamchatka CHPP-2

В тепловых сетях функционируют подкачивающие насосные станции, регуляторы давления и другие управляющие устройства. Это создает большие трудности решения задач эксплуатации, управления, организации и планирования режимов работы системы теплоснабжения.

Проблемы теплоснабжения

Проблемы с теплоснабжением города обусловлены следующими основными обстоятельствами:

1. Значительный перепад геодезических отметок местности. Различие отметок потребителей отдельных микрорайонов составляют от 10 до 125 м, а внутри одного строения 5–10 м. Зачастую секции домов возводятся «ступеньками», и они имеют разные тепловые вводы.

2. Большое разнообразие схем подключения нагрузок потребителей в микрорайонах. Изначально проект схемы теплоснабжения предполагал подключение всех потребителей по независимой, закрытой схеме. Однако трубопроводы горячего водоснабжения (ГВС) были проложены не ко всем домам. В результате в отдельных микрорайонах существуют

двухтрубные системы с открытым водоразбором на нужды ГВС из сетей отопления. Есть полностью четырехтрубные закрытые независимые системы и смешанные схемы.

3. В микрорайонах с четырехтрубной прокладкой, где не ко всем домам проложены сети горячего водоснабжения, диаметры сетей ГВС, спроектированные на полную нагрузку всех домов, оказались завышенными для величины транспортируемых расходов. Как следствие, скорости течения теплоносителя в этих сетях ниже допустимых, что приводит к значительному его остыванию. В результате не обеспечивается требуемая температура воды в местах водоразбора, увеличиваются сливы воды населением, следовательно, увеличиваются циркуляционные расходы.

4. В отдельных микрорайонах с двухтрубной прокладкой тепловых сетей в летнем режиме вся нагрузка ГВС транспортируется по сетям отопления, диаметры которых значительно больше, чем требуется для расхода теплоносителя на нужды ГВС. Это обстоятельство приводит к значительному остыванию теплоносителя на пути транспорта и увеличению

циркуляционных расходов для покрытия тепловых потерь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цели проекта закольцовки тепловых сетей первого контура

За последнее десятилетие произошли большие изменения в объемах и структуре теплоснабжения, в результате чего ТМ-3 оказалась перегружена и не может полностью обеспечить все питающиеся от нее ЦТП требуемым количеством тепла.

В основе проекта лежит создание замкнутой кольцевой системы теплоснабжения, что радикально меняет существующую схему. Вместо линейных магистралей, где повреждение одного участка приводит к полному отключению теплоснабжения целых районов, кольцевая система обеспечивает резервирование. При аварии на одном участке теплоноситель может циркулировать по альтернативному маршруту, минимизируя перерывы в подаче тепла. Это особенно актуально для п-ова. Камчатки, где суровые климатические условия предъявляют высокие требования к бесперебойности работы тепловых сетей.

Помимо повышения надежности, проект кольцевания позволяет оптимизировать работу ТЭЦ. Создание замкнутой системы способствует более равномерному распределению нагрузки на оборудование, что увеличивает срок его службы и повышает коэффициент полезного действия. Реализация проекта включает в себя не только прокладку новых участков магистральных сетей, непосредственно обеспечивающих закольцовку, но и реконструкцию подкачивающей насосной станции (ПНС) №2 с заменой насосов на насосы с частотно-регулируемым приводом.

Проект кольцевания тепловых сетей ПАО «Камчатскэнерго» – комплексное решение, направленное на повышение энергоэффективности, надежности и безопасности теплоснабжения города. Его успешная реализация обеспечит комфортные условия для населения и снизит риски, связанные с перебоями в теплоснабжении.

По предварительным оценкам, экономический эффект от реализации проекта будет значительным, что включает не только экономию на ремонтных работах и снижение потерь тепла, но и предотвращение экономических потерь, связанных с авариями на теплосетях. Проект закольцовки ТМ-2 и ТМ-3 в зимнем режиме предполагает переключение части нагрузок ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1 с целью уменьшения загрузки ТМ-3 и повышения надежности теплоснабжения южной части города. Объем переключаемой нагрузки составляет 21 Гкал/час,

что соответствует расходу теплоносителя 262,5 т/ч при температурном графике 150/70 °С. Часть ЦТП-312, ЦТП-313, ЦТП-314, ИТП-46, ЦТП-346 отключаются от ТМ-3, идущей от ТЭЦ-2, путем закрытия секционирующих задвижек.

В тепловой камере УТ-22, после открытия секционирующих задвижек, теплоноситель от ТЭЦ-1 по подающему трубопроводу вновь проектируемого участка закольцовки диаметром 500 мм поступает к перечисленным выше ЦТП, находящимся ранее в зоне действия ТЭЦ-2. Подключение распределительных сетей и потребителей к новым участкам магистрали нет. Возврат теплоносителя на ТЭЦ-1 обеспечивается через обратный трубопровод нового участка теплосети (рис. 3).

Для обеспечения поставленной цели были разработаны зимний и летний эксплуатационные режимы с учетом изменений в структуре магистральных сетей:

- ввод новой теплотрассы магистральной тепловой сети;
- реконструкция насосной станции ПНС-2 и установка насосов с частотно-регулируемым приводом.

ПНС-2 работает в реверсивном режиме: в зимнем режиме – включена в работу на подающем трубопроводе, в летнем – на обратном. Сложность разработки режимов вызвана большой протяженностью тепловых магистралей и сильно пересеченным рельефом местности. Под новые режимы были разработаны наладочные мероприятия для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения потребителей.

Закольцовка тепловых сетей позволит полностью останавливать КТЭЦ-1 в летний период, обеспечивая потребности города в горячей воде только за счет КТЭЦ-2. При этом закрываются головные задвижки на КТЭЦ-1, секционирующие задвижки в камерах ВК-32/33 и УТ-22 открыты.

Нагрузка ГВС составляет 18,4 Гкал/час, что соответствует расходу теплоносителя 724,5 т/ч при температурном графике 75/50 °С.

Давление в точках присоединения поддерживается на уровне:

- в подающем трубопроводе тепловой камеры УТ-22 – 1,52 МПа, в обратном – 0,99 МПа;
- в подающем трубопроводе камеры ВК-32/33 – 1,09 МПа, в обратном – 0,69 МПа.

Автоматизация работы тепловой сети проектом не предусмотрена.

Управление параметрами теплоснабжения и ГВС производится по графику качественного регулирования централизованно в источниках теплоснабжения (на ТЭЦ), а также в существующих ЦТП и ИТП потребителей.

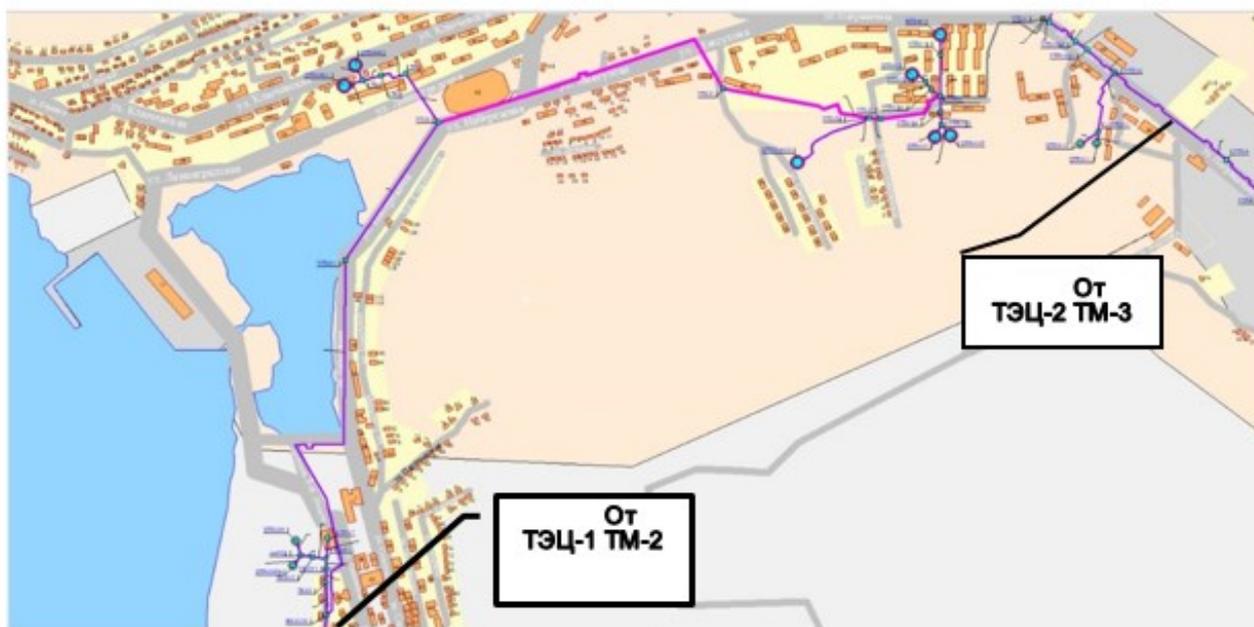


Рис. 3. Закольцовка тепловых магистралей ТМ-2 и ТМ-3 в зимнем режиме
Fig. 3. Looping of heating mains HM-2 and HM-3 in winter conditions

Многоуровневые расчеты теплогидравлических режимов тепловых сетей новой структуры

Для выполнения теплогидравлических расчетов была актуализирована разработанная ранее многоуровневая компьютерная модель [0]. Она учитывает иерархическую структуру, изменения в конфигурации тепловых сетей, подключение новой насосной станции и прогнозируемые нагрузки.

Это позволяет выполнять расчеты теплоснабжения как на этапе проектирования, так и при разработке и планировании режимов работы. Разработка эксплуатационных режимов работы магистральных тепловых сетей города и наладочных мероприятий для нормализации теплоснабжения микрорайонов проводились на основе серии теплогидравлических расчетов согласно методике многоуровневого моделирования, разработанной в ИСЭМ СО РАН [19, 20].

Целями расчетов являлись:

- экспертиза проектных решений закольцовки магистральных сетей посредством воспроизведения гидравлических и тепловых режимов магистральных сетей первичного контура при новой схеме их эксплуатации;
- выявление узких мест и количественная оценка уровня снабжения потребителей микрорайонов с учетом закольцовки и перспективных нагрузок;
- определение минимально необходимых действующих напоров насосов, установленных

на источниках, и в подкачивающих насосных станциях, а также давление подпитки на источниках тепла для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения потребителей;

- оценка уровня снабжения потребителей при выбранных параметрах на источниках тепла и насосных станциях;
- определение мест установки (подающий или обратный трубопровод в сети, а также у потребителей) и параметров дросселирующих устройств;
- разработка рекомендаций по наладочным мероприятиям.

Разработка эксплуатационных режимов в отопительный и летний периоды

Основной целью разработки режимов работы ТСС является определение оптимальных значений параметров управляющих элементов для обеспечения расчетных расходов теплоносителя через абонентские системы при строгом соблюдении технологических ограничений [21–23].

К таким ограничениям относятся:

- допустимые давления теплоносителя во всех узлах системы;
- располагаемые напоры на вводах потребителей;
- скорости движения теплоносителя в трубопроводах;
- температуры воздуха в отапливаемых помещениях;
- температуры воды в точках водоразбора горячего водоснабжения.

Анализ теплогидравлических режимов, выполненный с помощью моделирования по перспективным нагрузкам при параметрах управляющих элементов, рекомендованных проектом закольцовки (напоры насосных и источников тепла, давления подпитки), показал, что не все потребители получают требуемое количество тепла [17, 24]. Проверка допустимости режимов позволила определить диктующих потребителей с минимальными/максимальными значениями контролируемых параметров, с помощью которых были определены необходимые для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения действующие напоры насосов и давления подпитки на ТЭЦ [25]. Для компенсации тепловых потерь в сетях были определены поправки к расчетным расходам теплоносителя дифференцированно для всех потреби-

телей и ЦТП. Корректировка расходов проводилась по результатам расчета на ИВК «АНГАРА-ТС», исходя из нормативных тепловых потерь на трубопроводных участках по году их прокладки. Расходами, вычисленными индивидуально для каждого потребителя и ЦТП, компенсируются тепловые потери в подающей магистрали. У потребителей, непосредственно подключенных к магистральным тепловым сетям, поправка определена подробным расчетом. На ЦТП остывание компенсировано поправкой к расходу исходя из обеспечения температуры в обратном трубопроводе на выходе каждого ЦТП, равной 70 °С. Таким образом, для обеспечения зимнего режима с учетом закольцовки ТМ-2 и ТМ-3, следует поддерживать следующие параметры в узлах регулирования, указанные в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Параметры на источниках теплоснабжения

Table 1. Parameters at heat supply sources

	Действующий напор, м в. ст.	Давление подпитки, м в. ст.	Манометрический напор в подающем трубопроводе, м в. ст.	Манометрический напор в обратном трубопроводе, м в. ст.
ТЭЦ-2	(115±10) 118	(26) 36	(153± 7) 154	(38±2) 36
КТЭЦ-1-1	(75±7) 80	(60) 60	(130± 7) 140	(60±2) 60
КТЭЦ-1-2	(77±7) 80	(60) 60	(130± 7) 140	(60±2) 60

Примечание: в скобках указаны значения по проекту

Таблица 2. Параметры на насосных станциях

Table 2. Parameters at pumping stations

Наименование	На подающем трубопроводе		На обратном трубопроводе	
	Действующий напор насосов, м в. ст.	Уставка регулятора давления после себя, м в. ст.	Действующий напор, м в. ст.	Уставка регулятора давления до себя, м в. ст.
ПНС-2	45	114	–	–
ПНС-3	80	151	60	79
ПНС-4	52	82	50	55

Данный вариант был принят как основной при разработке наладочных мероприятий.

Наладочные мероприятия для обеспечения допустимых режимов и требуемого качества теплоснабжения потребителей

Основной особенностью, осложняющей наладку тепловых сетей г. Петропавловск-Камчатский, являются большие перепады геодезических отметок потребителей в пределах одного микрорайона и даже одного здания. Данное обстоятельство обусловило необходимость разработки нестандартных подходов к реализации решений по многоступенчатому снижению напоров на сети и у потребителей. Малые значения расходов у отдельных потребителей приводят к значительному остыванию из-за низких скоростей течения теплоносителя.

Следовательно, требуется проведение не только гидравлических, но и тепловых расчетов для разработки наладочного режима.

Одним из ключевых аспектов наладочных расчетов является определение мер по компенсации тепловых потерь в сетях для обеспечения потребителей требуемым количеством тепла. Для компенсации теплопотерь в сети могут быть использованы два подхода:

– увеличение расхода теплоносителя при неизменном температурном графике отпуска тепла на источнике;

– переход на повышенный температурный график с переопределением расчетных расходов теплоносителя на потребителей.

Первый метод предпочтительнее, поскольку предполагает корректировку только

одного параметра – расхода, и позволяет работать в рамках утвержденного температурного графика. Корректирующие коэффициенты к расходу рассчитываются индивидуально для каждого абонента, учитывая температуру теплоносителя на его вводе с учетом остывания

по длине трубопровода. На рис. 4–8 приведены примеры пьезометрических графиков, демонстрирующие сложность рельефа местности и наладочных мероприятий для обеспечения допустимых режимов и требуемого качества теплоснабжения потребителей.

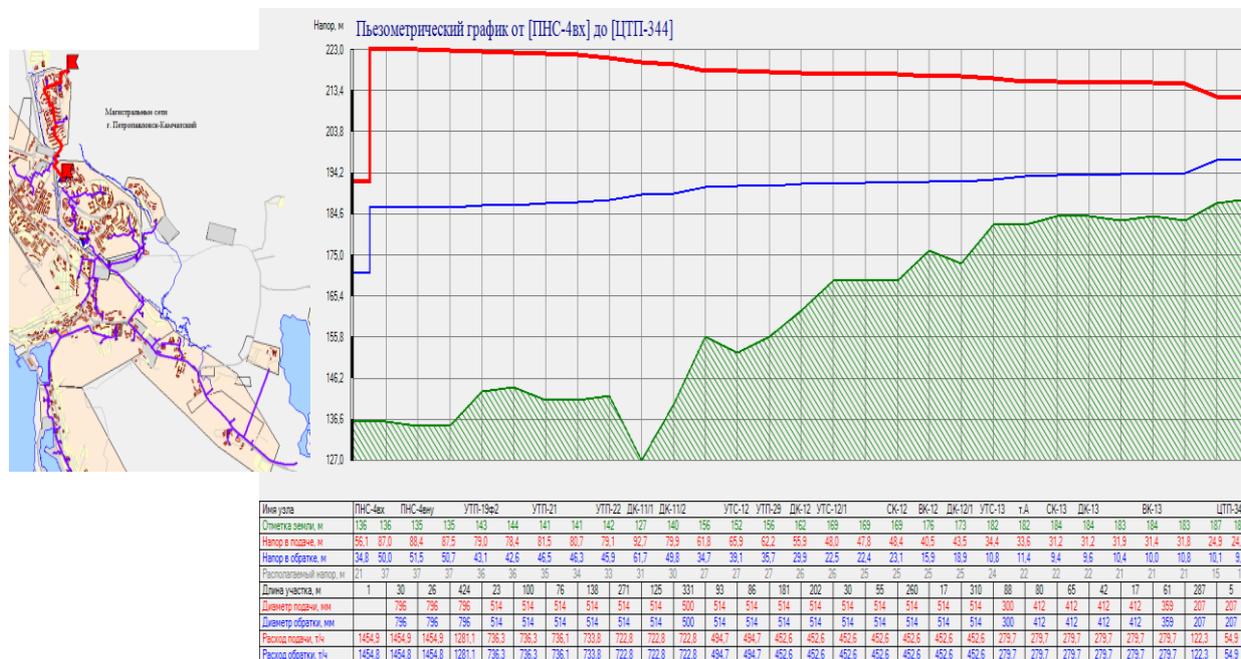


Рис. 4. Пьезометрический график зимнего режима по магистрали ТМ-3 от Камчатской ТЭЦ-2. Зона после ПНС-4. Схема секционирования с закольцовкой
 Fig. 4. Piezometric graph of winter conditions along the TM-3 main line from Kamchatka CHPP-2. Zone after pumping station-4. Sectionalization scheme with loopback

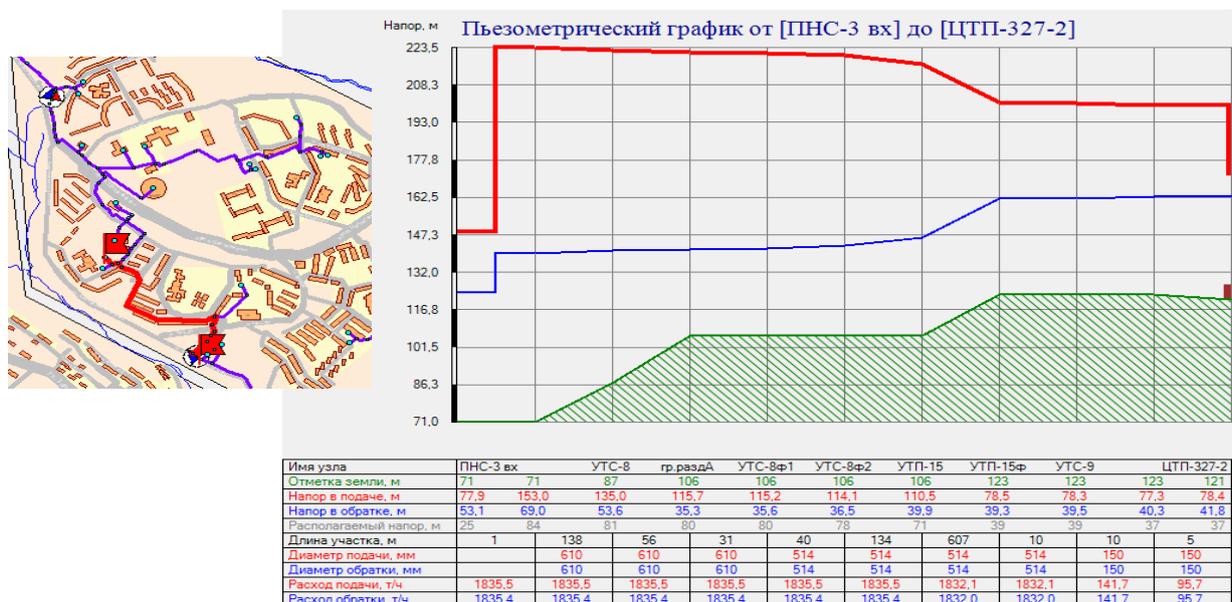


Рис. 5. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от ПНС-3 до ввода в ЦТП-327, находящийся в худших условиях среди ЦТП по напору в подающем трубопроводе
 Fig. 5. Piezometric graph along the main line TM-3 from pumping station-3 to central heating station-327, which is in the worst conditions among the heating stations in terms of pressure in the supply pipeline

Оценка энергоэффективности полученного результата

Для анализа режима важно оценить отклонение текущего параметра режима элемента ТСС от требуемого значения. К основным значениям параметров режима у диктующих потребителей, которые определяют качество теплоснабжения, относятся: давление в подающей магистрали на вводе в потребитель, давление в обратном трубопроводе перед си-

стемой отопления потребителя, располагаемый напор на вводе в потребитель, температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений, температура воды на ГВС в местах водоразбора.

Величина отклонения этих параметров от требуемых значений позволяет количественно оценить «недоотпуск» тепла, пропускную способность тепловой сети и потенциал энергосбережения [25, 26].

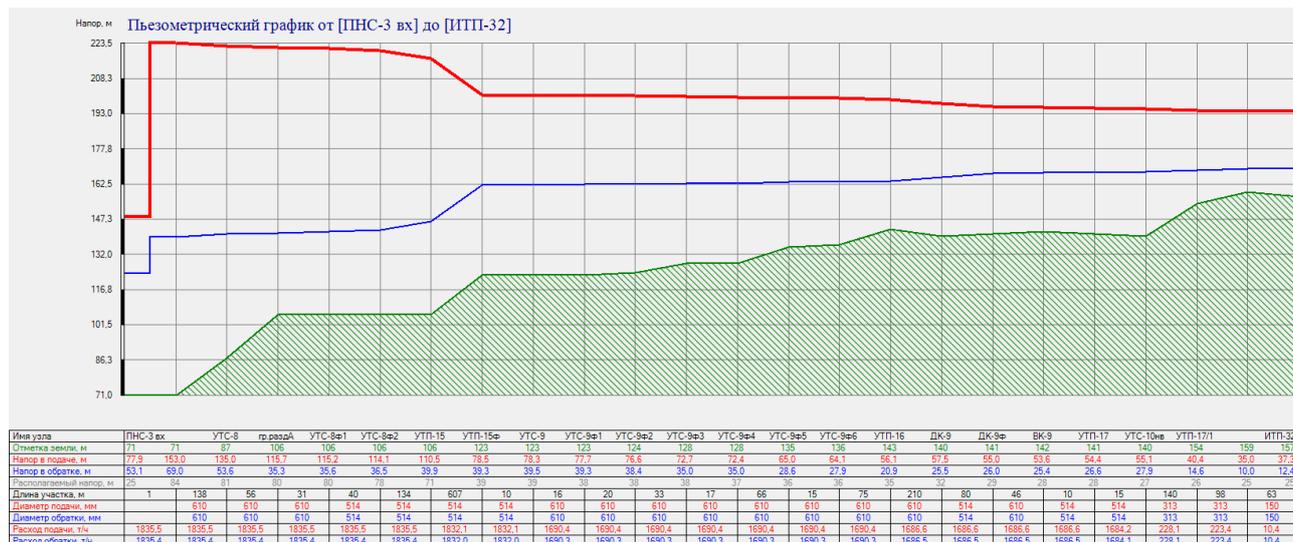


Рис. 6. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от ПНС-3 до ввода в потребитель ИТП-32, диктующий по напору на вводе в обратном трубопроводе (на залуе)
Fig. 6. Piezometric graph along the main line TM-3 from pumping station-3 to the input to the consumer individual heating station-32, which dictates the pressure at the input in the return pipeline (to the bay)

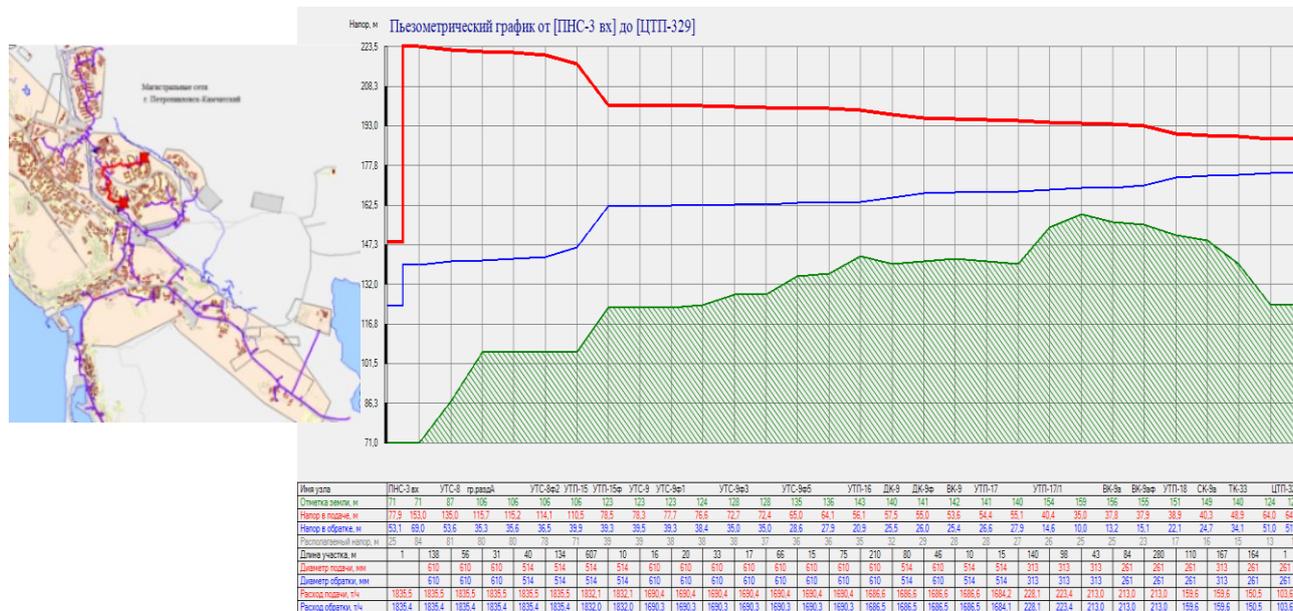


Рис. 7. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от ПНС-3 до ввода в ЦТП-329, диктующий по располагаемому напору
Fig. 7. Piezometric graph along the main line TM-3 from pumping station-3 to the input to central heating station-329, dictating the available pressure

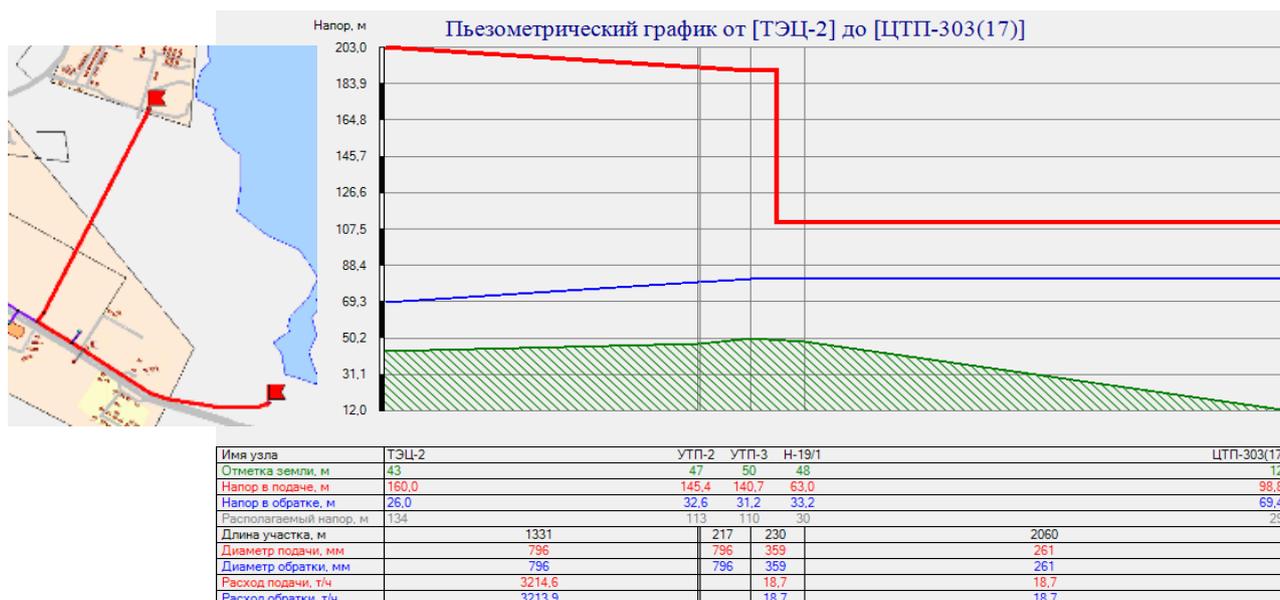


Рис. 8. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от КТЭЦ-2 до ввода в ЦТП-303. Дросселирование на 73 м вод ст. на участке тепловой сети в камере УТП-3
Fig. 8. Piezometric graph along the main line TM-3 from CHPP-2 to the input to central heating station-303. Throttling at 73 m of water station on the section of the heating network in the UTP-3 heating chamber

Экономическая эффективность при организации нормальных эксплуатационных режимов достигается благодаря снижению следующих показателей:

- циркуляционные расходы сетевой воды;
- слив воды населением;
- тепловые потери в сети;
- затраты на топливо;
- затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя;
- оптимизация графиков отпуска тепла от источников.

При организации послеаварийных режимов в условиях дефицита тепловой энергии экономическая эффективность достигается за счет минимизации ущербов от аварийных ситуаций и сокращения времени восстановления нормальных режимов.

При диспетчерском управлении экономическая эффективность достигается за счет тех же факторов, но путем повышения оперативности мероприятий по поддержанию запланированных режимов и минимизации последствий аварий.

На рис. 9 показаны пьезометрические графики магистральных сетей ТМ-2 и ТМ-3 в существующем режиме. Магистраль ТМ-3 от КТЭЦ-2 разветвляется на два луча в камере УТС-5: в сторону УТ-22 и в сторону ЦТП-44. В сети работает две насосные станции ПНС-3 и ПНС-4, в которых на обратном трубопроводе

установлены регуляторы давления (РД) для обеспечения подпора потребителей верхней зоны.

Насосные разделяют ТМ-3 на три зоны, в каждой из которых были определены диктующие по всем основным параметрам узлы и необходимые значения управляющих параметров на ИТ и после НС.

Сети от КТЭЦ-1 и КТЭЦ-2 работают изолировано. На обратном трубопроводе сети от КТЭЦ-1 установлен регулятор давления, который поддерживает давление для залива потребителей.

В соответствии с проектом на перспективу сооружается тепломагистраль между камерами УТ-22 и ВК-32/33, которая закольцовывает магистральную сеть (рис. 10.).

Для обеспечения требуемых располагаемых напоров у потребителей зоны КТЭЦ-1 необходима реконструкция и запуск в работу ПНС-2, которая работает на подающей магистрали в зимний период и переключается на обратную магистраль в реверсивном режиме в летний период (рис. 11). Как видно из пьезометра на рис. 10, располагаемые напоры в месте стыковки тепломагистралей от КТЭЦ-1 и КТЭЦ-2 в УТС-5 значительно отличаются, поэтому фактически закольцовка позволяет только переключать часть потребителей с ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1, но не дает возможности работать источникам на общие тепловые сети.

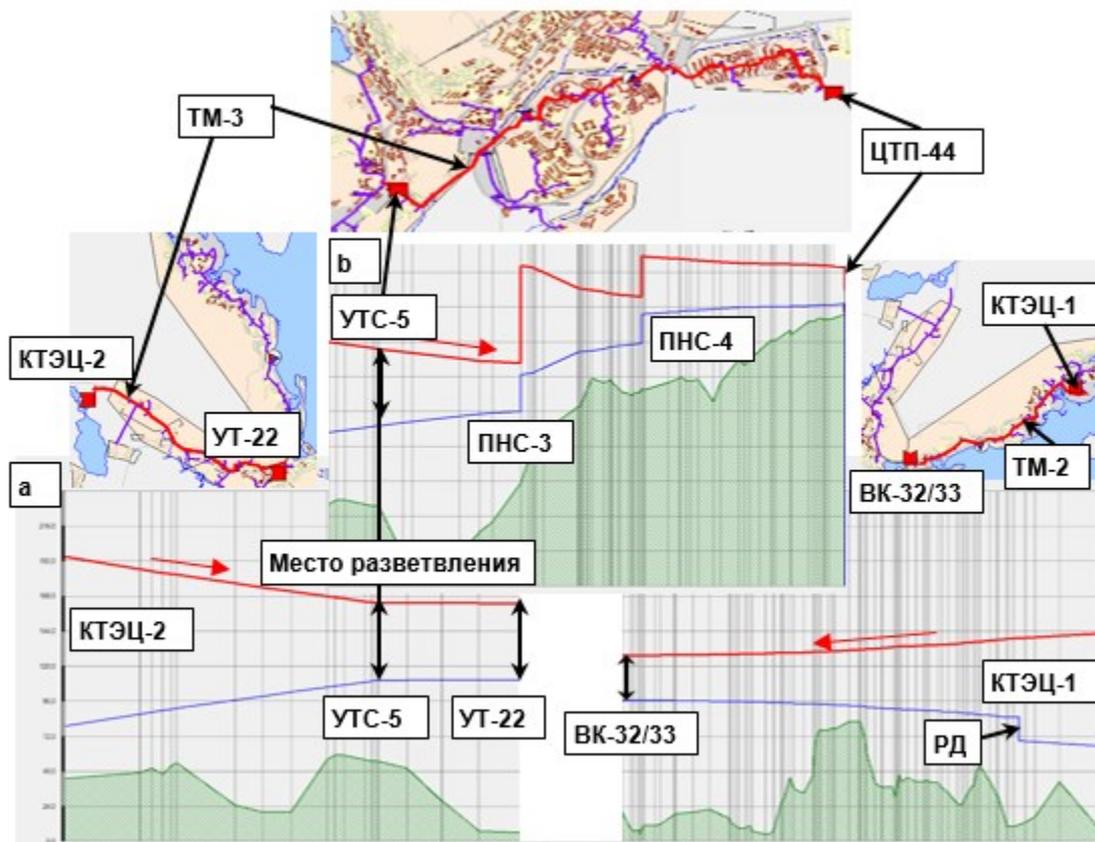


Рис. 9. Пьезометрические графики магистральных сетей в существующем зимнем режиме:
 а – от КТЭЦ-2 до УТ-22 и от КТЭЦ-1 до ВК-32/33; б – на ответвлении магистрали ТМ-3 от УТС-5 до ЦТП-44.
Fig. 9. Piezometric graphs of main networks in the existing winter operating condition:
 a – from Kamchatka CHPP-2 to heat point UT-22 and from Kamchatka CHPP-1 to heat point VK-32/33;
 b – on the branch of the HM-3 main line from heat point UTS-5 to central heating station-44.
 Above each piezometer, network diagrams are shown on the city plan

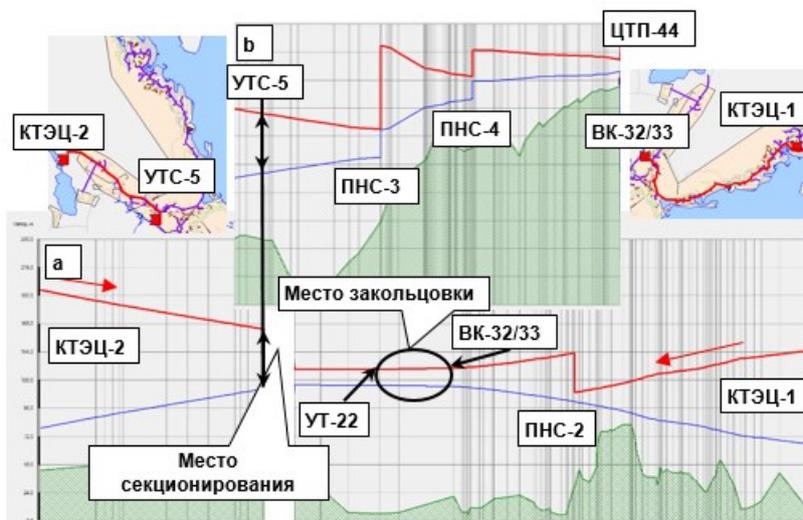


Рис. 10. Пьезометрические графики перспективного зимнего режима:
 а – ТМ-2 и ТМ-3 в закольцовке; б – ответвление по ТМ-3 от УТС-5 до ЦТП-44
Fig. 10. Piezometric graphs of the prospective winter operating condition:
 a – HM-2 main line and HM-3 main line in a loop; b – branch along HM-3 main line from heat point UTS-5 to central heating station-44

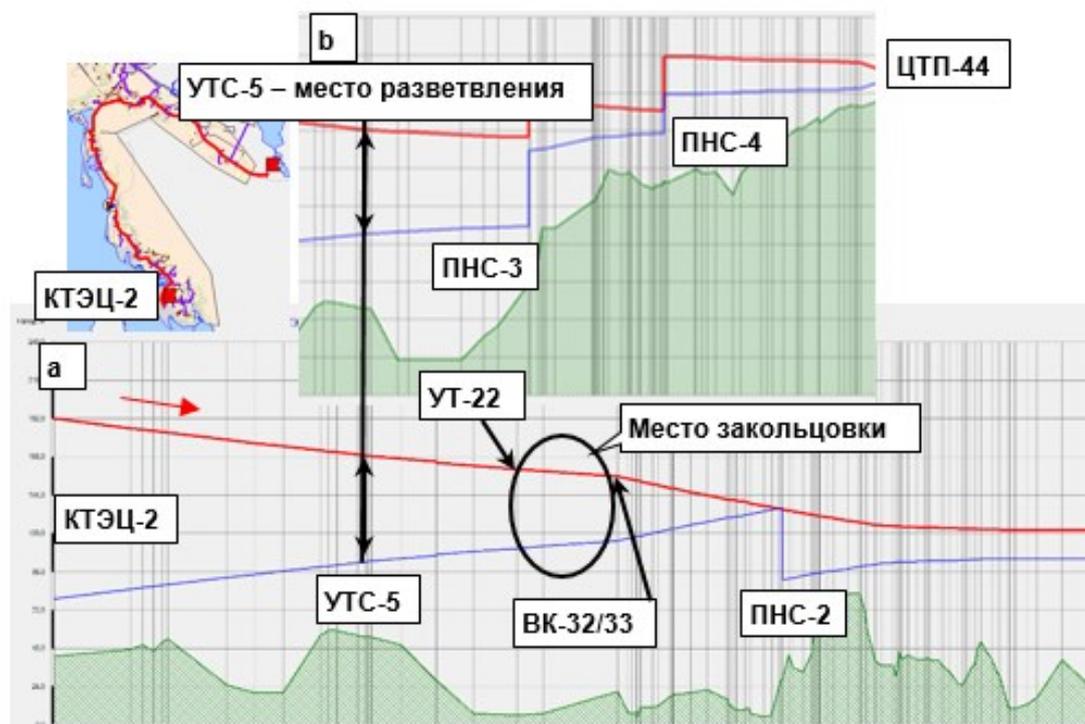


Рис. 11. Пьезометрические графики перспективного летнего режима:
а – ТМ-2 и ТМ-3 в закольцовке; б – ответвление по ТМ-3 от УТС-5 до ЦТП-44
Fig. 11. Piezometric graphs of the prospective summer operating condition:
a – HM-2 main line and HM-3 main line in a loop; b – branch along HM-3 main line from heat point UTS-5 to central heating station-44

В летнем режиме (рис. 11) после реконструкции появляется возможность вывода из эксплуатации КТЭЦ-1 и снабжения всех потребителей только от КТЭЦ-2, что позволяет значительно сократить потребление топлива и затрат электроэнергии на перекачку теплоносителя. Следует отметить, что в перспективном режиме нет необходимости дросселирования напора в обратном трубопроводе ТМ-2 от КТЭЦ-1, что сократит потери энергии на дросселирование. Уменьшаются напоры в подающем трубопроводе сети, что сократит утечки теплоносителя. В перспективном режиме увеличивается пропускная способность сетей. Появляется возможность увеличения расходов теплоносителя по ТМ-2 от КТЭЦ-1 с 835 до 1170 т/ч, и по ТМ-3 от ТЭЦ-2 с 2845 до 2995 т/ч.

В сумме расходы увеличатся на 13,2 % с 3680 до 4165 т/ч, что позволяет покрыть дефицит тепла, который существовал в существующем режиме. Установка дроссельных устройств у потребителей и в сети с параметрами, вычисленными в результате расчета, обеспечит правильное распределение потоков теплоносителя в сети. Это позволит нормализовать скорости течения теплоносителя и существенно сократить тепловые потери в сети и сливы воды населением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Сложность проведения экспертизы проекта и разработки эксплуатационных режимов требует привлечения информационно-вычислительных технологий [27–29].

2. Проведенный с помощью ИВС «АНГАРАТС» анализ режимов тепловых сетей позволил выявить узкие места и определить количественную оценку уровня снабжения потребителей микрорайонов с учетом закольцовки и перспективных нагрузок.

3. При разработке и организации режимов с учетом новых условий эксплуатации определены минимально необходимые действующие напоры насосов, установленных на источниках и в подкачивающих насосных станциях, а также давлений подпитки на источниках тепла для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения потребителей.

4. Экспертиза проекта закольцовки показала, что при поддержании параметров в узлах регулирования, определенных расчетами для организации режимов, и выполнении разработанных наладочных мероприятий в нормальном режиме все ЦТП будут обеспечены требуемым количеством тепла, а значит, обеспечен

требуемый уровень теплоснабжения, все параметры режимов находятся в пределах допустимых значений, что исключает разрывы трубопроводов от превышения давления, подсосы воздуха в сетях, опорожнения и раздавливания местных систем теплоснабжения и повышает надежность ТСС, пропускная способность сетей увеличивается на 13,2 %, в случае возникновения нештатной ситуации город будет обеспечен требуемым количеством тепла от одной или другой ТЭЦ, что существенно повышает надежность системы, в летний период

за счет остановки ТЭЦ-1 значительно снизится потребление топлива, и соответственно затраты на него, сокращаются, циркуляционные расходы и затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя, установка дроссельных устройств у потребителей и в сети с вычисленными в результате расчета параметрами обеспечит правильное распределение потоков теплоносителя в сети. Это обстоятельство позволит нормализовать скорости течения теплоносителя и существенно сократить тепловые потери в сети и сливы воды населением.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Technique of Multilevel Adjustment Calculation of the Heat Hydraulic Mode of the Major Heat Supply Systems with The Intermediate Control Stages // *Thermal Engineering*. 2016. Vol. 63. P. 68–77. <https://doi.org/10.1134/S0040601516010110>.
2. Guelpa E., Toro C., Sciacovelli A., Melli R., Sciubba E., Verda V. Optimal Operation of Large District Heating Networks Through Fast Fluid-Dynamic Simulation // *Energy*. 2016. Vol. 102. P. 586–595. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.058>.
3. Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Optimization of Multi-Source Complex District Heating Network, A Case Study // *Energy*. 2017. Vol. 126. P. 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.018>.
4. Guelpa E., Sciacovelli A., Verda V. Thermo-Fluid Dynamic Model of Large District Heating Networks for The Analysis of Primary Energy Savings // *Energy*. 2019. Vol. 184. P. 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.177>.
5. Vesterlund M., Dahl J. A Method for The Simulation and Optimization of District Heating Systems with Meshed Networks // *Energy Conversion and Management*. 2015. Vol. 89. P. 555–567. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.002>.
6. Di Nardo A., Cavallo A., Di Natale M., Greco R., Santonastaso G.F. Dynamic Control of Water Distribution System Based On Network Partitioning // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 154. P. 1275–1282. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.460>.
7. Schweiger G., Larsson P.-O., Magnusson F., Lauenburg P., Velut S. District Heating and Cooling Systems – Framework for Modelica-Based Simulation and Dynamic Optimization // *Energy*. 2017. Vol. 137. P. 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115>.
8. Gilani B.S., Bachmann M., Kriegel M. Evaluation of The Temperature Regimes of Multi-Level Thermal Networks in Urban Areas Through Exergy Analysis // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 122. P. 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.424>.
9. Shoujun Zhou, Haiming Li, Pu Gong, Maocheng Tian Hydraulic Modeling of Double-Source and Ring-Shaped Heating Networks // *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 119. P. 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.035>.
10. Yaran Wang, Shijun You, Huan Zhang, Wandong Zheng, Xuejing Zheng, Qingwei Miao Hydraulic Performance Optimization of Meshed District Heating Network with Multiple Heat Sources // *Energy*. 2017. Vol. 126. P. 603–621. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.044>.
11. Tarasevich V.V., Lee A.K., Moroz A.A. Imitation of The Hydraulic Devices Operations Within the Complex Pipe Systems // *Proceedings of 2013 IAHR Congress*. 2013. P. 1–7.
12. Sartor K., Thomas D., Dewallef P. A Comparative Study for Simulating Heat Transport in Large District Heating Networks // *International Journal of Heat and Technology*. 2018. Vol. 36. Iss. 1. P. 301–308. <https://doi.org/10.18280/ijht.360140>.
13. Sartor K., Dewallef P. Experimental Validation of Heat Transport Modeling in District Heating Net-Works // *Energy*. 2017. Vol. 137. P. 961–968. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.161>.
14. Pengfei Jie, Zhe Tian, Shanshan Yuan, Neng Zhu Modeling the Dynamic Characteristics of a District Heating Net-Work // *Energy*. 2012. Vol. 39. Iss. 1. P. 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.055>.
15. Chertkov M.S., Novitsky N.N. Thermal Transients in District Heating Systems // *Energy*. 2019. Vol. 184. P. 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.049>.
16. Токарев В.В., Новицкий Н.Н., Шалагинова З.И., Баринаева С.Ю. Информационно-вычислительный комплекс для расчета и анализа режимов теплоснабжающих систем // *Гидравлические цепи. Развитие теории и приложения*. Новосибирск: Наука, 2000. С. 138–154. EDN: RUGDMB.
17. Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И., Алексеев А.В., Гребнева О.А., Баринаева С.Ю. Информационно-вычислительный комплекс «АНГАРА-ТС» для автоматизации расчета и анализа эксплу-

атационных режимов при управлении крупными многоконтурными системами теплоснабжения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 11. С. 126–144. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-11-126-144>. EDN: YPWUHZ.

18. Stennikov V.A., Novitsky N.N., Alexeev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Penkovsky A.V. et al. Hierarchical Modeling of Analysis and Control of Operating Conditions of Pipeline Energy Systems // Hierarchical Modeling of Energy Systems. Irkutsk: Elsevier, 2023. P. 379–455. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-313917-8.00015-8>.

19. Алексеев А.В., Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И. Многоуровневое моделирование режимов больших теплоснабжающих систем методами теории гидравлических цепей // Трубопроводные системы энергетики. Развитие теории и методов математического моделирования и оптимизации. Новосибирск: Наука, 2008. С. 211–228. EDN: RRWYJP.

20. Novitsky N.N., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel Modelling and Optimization of Large-Scale Pipeline Systems Operation // Energy. 2019. Vol. 184. P. 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.070>.

21. Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Applied Problems and Methodological Approaches to Planning and Implementation of Operating Conditions at District Heating Systems // Thermal Engineering. 2019. Vol. 66. Iss. 10. P. 714–729. <https://doi.org/10.1134/S0040601519100057>.

22. Токарев В.В., Шалагинова З.И. Опыт применения новых технологий для организации режимов крупных теплоснабжающих систем // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12. С. 240–248. EDN: ONXUXB.

23. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Tokarev V.V., Alekseev A.V., Tsevegjav U. Application Experience of the Theory Hydraulic Circuits Methods and Modern Technologies for Organizing Operating Conditions of Mongolian District Heating Systems // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 397. P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339704004>.

24. Сидлер В.Г., Шалагинова З.И. Математическая модель для исследования режимов функционирования систем теплоснабжения // Современные проблемы системных исследований в энергетике (г. Иркутск, 02–06 июля 1990 г.). Иркутск, 1990. С. 106–115. EDN: RXQCXX.

25. Атавин А.А., Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., и др. Трубопроводные системы энергетики. Математические и компьютерные технологии интеллектуализации. Новосибирск: Наука, 2017. 384 с. EDN: YLMSLI.

26. Алексеев А.В., Гребнева О.А., Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И. Математические модели и методы для оценки и реализации потенциала энергосбережения при управлении режимами теплоснабжающих систем // Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий. Новосибирск: Научно-исследовательский институт молекулярной биологии и биофизики, 2009. С. 38–49. EDN: RSIBQJ.

27. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.A., V.V. Tokarev, Grebneva O.A., Lutsenko A.V. et al. Smarter Smart District Heating // Proceedings of the IEEE. 2020. Vol. 108. Iss. 9. P. 1596–1611. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2990490>.

28. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., V.V. Tokarev, Alekseev A.A., Tsevegjav U., Oros P. et al. Current Issues of Russian and Mongolian District Heating Systems and Scientific and Methodological Lines for Solving Them // Energy Systems Research. 2022. Vol. 5. Iss. 3. P. 27–43. <http://doi.org/10.38028/esr.2022.03.0005>.

29. Novitskii N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Tokarev V.V., Lutsenko A.V. et al. Intellectualization of Heat-Supply Systems: Current State, Trends and Tasks (A Review) // Thermal Engineering. 2022. Vol. 69. P. 367–383. <https://doi.org/10.1134/S004060152204005X>.

REFERENCES

1. Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Technique of Multilevel Adjustment Calculation of the Heat Hydraulic Mode of the Major Heat Supply Systems with The Intermediate Control Stages. *Thermal Engineering*. 2016;63:68-77. <https://doi.org/10.1134/S0040601516010110>.
2. Guelpa E., Toro C., Sciacovelli A., Melli R., Sciubba E., Verda V. Optimal Operation of Large District Heating Networks Through Fast Fluid-Dynamic Simulation. *Energy*. 2016;102:586-595. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.058>.
3. Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Optimization of Multi-Source Complex District Heating Network, A Case Study. *Energy*. 2017;126:53-63. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.018>.
4. Guelpa E., Sciacovelli A., Verda V. Thermo-Fluid Dynamic Model of Large District Heating Networks for The Analysis of Primary Energy Savings. *Energy*. 2019;184:34-44. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.177>.
5. Vesterlund M., Dahl J. A Method for The Simulation and Optimization of District Heating Systems with Meshed Networks. *Energy Conversion and Management*. 2015;89:555-567. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.002>.

6. Di Nardo A., Cavallo A., Di Natale M., Greco R., Santonastaso G.F. Dynamic Control of Water Distribution System Based On Network Partitioning. *Procedia Engineering*. 2016;154:1275-1282. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.460>.
7. Schweiger G., Larsson P.-O., Magnusson F., Lauenburg P., Velut S. District Heating and Cooling Systems – Framework for Modelica-Based Simulation and Dynamic Optimization. *Energy*. 2017;137:566-578. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115>.
8. Gilani B.S., Bachmann M., Kriegel M. Evaluation of The Temperature Regimes of Multi-Level Thermal Networks in Urban Areas Through Exergy Analysis. *Energy Procedia*. 2017;122:385-390. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.424>.
9. Shoujun Zhou, Haiming Li, Pu Gong, Maocheng Tian Hydraulic Modeling of Double-Source and Ring-Shaped Heating Networks. *Applied Thermal Engineering*. 2017;119:215-221. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.035>.
10. Yaran Wang, Shijun You, Huan Zhang, Wandong Zheng, Xuejing Zheng, Qingwei Miao Hydraulic Performance Optimization of Meshed District Heating Network with Multiple Heat Sources. *Energy*. 2017;126:603-621. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.044>.
11. Tarasevich V.V., Lee A.K., Moroz A.A. Imitation of The Hydraulic Devices Operations Within the Complex Pipe Systems. *Proceedings of 2013 IAHR Congress*. 2013;1-7.
12. Sartor K., Thomas D., Dewallef P. A Comparative Study for Simulating Heat Transport in Large District Heating Networks. *International Journal of Heat and Technology*. 2018;36(1):301-308. <https://doi.org/10.18280/ijht.360140>.
13. Sartor K., Dewalef P. Experimental Validation of Heat Transport Modeling in District Heating Net-Works. *Energy*. 2017;137:961-968. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.161>.
14. Pengfei Jie, Zhe Tian, Shanshan Yuan, Neng Zhu Modeling the Dynamic Characteristics of a District Heating Net-Work. *Energy*. 2012;39(1):126-134. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.055>.
15. Chertkov M.S., Novitsky N.N. Thermal Transients in District Heating Systems. *Energy*. 2019;184:22-33. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.049>.
16. Tokarev V.V., Novitskii N.N., Shalaginova Z.I., Barinova S.Yu. Information and Computing Complex for Calculation and Analysis of Heat Supply Systems Modes. In: *Hydraulic Circuits. Development of Theory and Applications*. Novosibirsk: Science, 2000. P. 138–154. (In Russ.). EDN: RUGDMB.
17. Novitsky N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Barinova S.Y. Information Computing Complex “Angara-Hs” For Calculation and Analysis of Operating Conditions of Large Multiloop Heat Supply Systems Under Control. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018;22(11):126-144. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-11-126-144>. EDN: YPWUHZ.
18. Stennikov V.A., Novitsky N.N., Alexeev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Penkovsky A.V. et al. Hierarchical Modeling of Analysis and Control of Operating Conditions of Pipeline Energy Systems. In: *Hierarchical Modeling of Energy Systems*. Irkutsk: Elsevier, 2023. P. 379–455. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-313917-8.00015-8>.
19. Alekseev A.V., Novitskii N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel Modeling of Large Heat Supply Systems Using Methods of Hydraulic Circuit Theory. In: *Pipeline Systems of Energy. Development of The Theory and Methods of Mathematical Modeling and Optimization*. Novosibirsk: Nauka, 2008. P. 211–228. (In Russ.). EDN: RRWYJP.
20. Novitsky N.N., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel Modelling and Optimization of Large-Scale Pipeline Systems Operation. *Energy*. 2019;184:151-164. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.070>.
21. Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Applied Problems and Methodological Approaches to Planning and Implementation of Operating Conditions at District Heating Systems. *Thermal Engineering*. 2019;66(10):714-729. <https://doi.org/10.1134/S0040601519100057>.
22. Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Application Experience of New Technologies for Mode Organization of Major Heat Supply Systems. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2011;12:240-248. (In Russ.). EDN: ONXUXB.
23. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Tokarev V.V., Alekseev A.V., Tsevegjav U. Application Experience of the Theory Hydraulic Circuits Methods and Modern Technologies for Organizing Operating Conditions of Mongolian District Heating Systems. *E3S Web of Conferences*. 2023;397:1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339704004>.
24. Sidler V.G., Shalaginova Z.I. Mathematical Model for Studying the Modes of Operation of Heat Supply Systems. In: *Sovremennyye problemy sistemnykh issledovaniy v energetike = Modern Problems of System Research in Power Engineering*. 02–06 July 1990, Irkutsk. Irkutsk; 1990. p. 106–115. (In Russ.). EDN: RXQCXX.
25. Atavin A.A., Novitskii N.N., Sukharev M.G., Chionov A.M., Ovchinnikova T.E., Emelyanov V.A., Korelshtein L.B. et al. *Pipeline Systems of Energy. Mathematical and Computer Technologies of Intellectualization*. Novosibirsk: Nauka, 2017. 384 p. (In Russ.). EDN: YLMSLI.

26. Alekseev A.V., Grebneva O.A., Novitskii N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Mathematical Models and Methods for Assessing and Implementing the Energy Saving Potential in Managing Heat Supply System Modes. In: *Research and Development of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in The Field of Energy Efficient Technologies*. Novosibirsk: Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, 2009. P. 38–49. (In Russ.). EDN: RSIBQJ.

27. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.A., V.V. Tokarev, Grebneva O.A., Lutsenko A.V. et al. Smarter Smart District Heating. *Proceedings of the IEEE*. 2020;108(9):1596-1611. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2990490>.

28. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., V.V. Tokarev, Alekseev A.A., Tsevegjav U., Oros P. et al. Current Issues of Russian and Mongolian District Heating Systems and Scientific and Methodological Lines for Solving Them. *Energy Systems Research*. 2022;5(3):27-43. <http://doi.org/10.38028/esr.2022.03.0005>.

29. Novitskii N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Tokarev V.V., Lutsenko A.V. et al. Intellectualization of Heat-Supply Systems: Current State, Trends and Tasks (A Review). *Thermal Engineering*. 2022;69:367-383. <https://doi.org/10.1134/S004060152204005X>.

Информация об авторах

Information about the authors

Шалагинова Зоя Ивановна,

к.т.н., доцент,
старший научный сотрудник лаборатории
трубопроводных и гидравлических систем,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
Сибирского отделения Российской академии
наук,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
✉ e-mail: shalaginova@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8478-6511>
Author ID: 476885

Zoya I. Shalaginova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Senior Researcher of the Laboratory of Pipeline
and Hydraulic Systems,
Melentiev Energy Systems Institute of Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences,
130 Lermontov St., Irkutsk 664033,
Russia,
✉ e-mail: shalaginova@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8478-6511>
Author ID: 476885

Токарев Вячеслав Вадимович,

к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории
трубопроводных и гидравлических систем,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
Сибирского отделения Российской академии
наук,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
e-mail: tslava@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1250-7541>
Author ID: 16853

Vyacheslav V. Tokarev,

Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher of the Laboratory of Pipeline
and Hydraulic Systems,
Melentiev Energy Systems Institute of Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences,
130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: tslava@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1250-7541>
Author ID: 16853

Вклад авторов

Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Information about the article

Статья поступила в редакцию 20.01.2025.
Одобрена после рецензирования 17.02.2025.
Принята к публикации 18.02.2025.

The article was submitted 20.01.2025.
Approved after reviewing 17.02.2025.
Accepted for publication 18.02.2025.