

ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Т. С. Жилина¹, М. Н. Сабукевич¹, Дан Ву Дин², Джанака Видесундара³

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² Ханойский университет горного дела и геологии, Ханой, Вьетнам

³ Университет Моратувы, Моратува, Шри-Ланка

USING THE BOOSTER PUMPING STATIONS FOR MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEM

Tatiana S. Zhilina¹, Maria N. Sabukevich¹, Dang Vu Dinh², Janaka Wijesundara³

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

³ University of Moratuwa, Moratuwa, Sri Lanka

Аннотация. Авторы рассматривают проблему недостаточной мощности существующих котельных и сетей теплоснабжения в крупных городах, что приводит к перегрузкам и авариям. Модернизация работы систем теплоснабжения направлена на повышение энергоэффективности, экологической безопасности и надежности сетей теплоснабжения. Использование современных технологий позволяет значительно улучшить работу систем теплоснабжения и сделать теплоноситель более доступным и эффективным для потребителей.

В целях обеспечения бесперебойной работы объектов в селитебной застройке и эффективной работы тепловых сетей, а также тепловых магистралей, которые расположены в труднодоступных районах со сложным рельефом, авторы предлагают устанавливать или модернизировать повысительные насосные станции. Станции нужны для поддержания требуемых параметров теплоносителя и обеспечения качественным теплоносителем потребителей тепловой энергии. В статье рассмотрен

Abstract. The authors consider the problem of insufficient power of existing boiler houses and heat supply networks in large cities, which leads to overloads and accidents. Modernization of operation in heat supply system is aimed at improving energy efficiency, environmental safety and reliability of heat supply networks. The use of modern technologies provides a significant improvement in the operation of heat supply systems and makes the coolant more accessible and efficient for consumers. To ensure uninterrupted operation of heat supply facilities in residential areas and efficient operation of heat supply networks and heating mains in hard-to-reach areas with difficult terrain, the authors proposed to install or modernize booster pumping stations. Such stations help to keep the required parameters of the coolant and to provide heat consumers with quality coolant. The article discusses the operating principle of pumping stations and provides a functional diagram of process automation. Piezometric diagrams of pre- and post-installation of booster pumping stations

принцип работы насосных станций, приведена функциональная схема автоматизации технологического процесса. Пьезометрические графики, построенные до и после установки повысительных насосных станций, позволяют говорить о положительном эффекте модернизации повысительных насосных станций в системе теплоснабжения. Так, после реконструкции общая производительность насосных групп на подающем и обратных контурах возросла в 1.33 раза, напор в системе – в 1.12 раза.

Ключевые слова: тепловая сеть, теплоноситель, автоматизация, энергоэффективность, энергосбережение, модернизация системы теплоснабжения

allow us to speak about the positive effect of booster pumping stations modernization in the heat supply system. Thus, after reconstruction, the total capacity of pumping groups on the direct and return circuits increased by 1.33 times, the head in the system – by 1.12 times.

Key words: heat supply network, coolant, automation, energy efficiency, energy saving, modernization of heat supply system

Для цитирования: Применение повысительных насосных станций для модернизации систем теплоснабжения / Т. С. Жилина, М. Н. Сабукевич, Дан Ву Дин, Джанака Видесундара. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-56-66. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 2 (108). – С. 56–66.

For citation: Zhilina, T. S., Sabukevich, M. N., Vu Dinh, Dang, & Wijesundara, Janaka. (2024). Using the booster pumping stations for modernization of heat supply system. *Architecture, Construction, Transport*, (2(108)), pp. 56-66. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-56-66.

1. Введение

Энергосбережение – одно из основных направлений развития системы теплоснабжения. В настоящее время сделан акцент на конкретные решения проблем энергосбережения, приоритетные с точки зрения потребителей тепловой энергии. Это предотвращение падения объемов поставляемого теплоносителя, уменьшение расхода теплоты в системах отопления, горячего водоснабжения и вентиляции зданий, уменьшение теплотерь или сокращение тепловых затрат зданий. Актуальным является вопрос о целесообразности и необходимости реконструкции повысительных насосных станций (ПНС), так

как повышение надежности функционирования энергоагрегатов ведет к повышению эффективности работы системы теплоснабжения и снижению износа оборудования при транспортировке теплоносителя от основного источника до потребителя.

В настоящее время применяется Федеральный закон «О теплоснабжении» от 27.07.2010 № 190-ФЗ¹, который устанавливает основные понятия в энергокомплексе системы теплоснабжения и определяет общие принципы организации отношений в сфере теплоснабжения. Однако законодательная база в сфере теплоснабжения постепенно обновляется, разрабатываются новые

¹ О теплоснабжении : Федеральный закон № 190-ФЗ : принят Государственной Думой 9 июля 2010 года : одобрен Советом Федерации 14 июля 2010 года : с изменениями на 26 февраля 2024 года. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902227764> (дата обращения: 10.04.2024).

положения и регламенты, обсуждаются принципиальные решения о направлениях развития системы теплоснабжения крупных городов [1]. Это вызвано необходимостью решить ряд накопившихся проблем.

Так, недостаточная мощность существующих котельных и сетей теплоснабжения [2] часто приводит к перегрузкам и авариям на сетях. Уровень потерь тепла в процессе передачи теплоносителя по сети бывает очень высоким, а это увеличивает расходы на топливо и снижает эффективность системы. Кроме того, устаревшие теплосети, задержки технического обслуживания и ремонта оборудования и недостаток инвестиций в развитие отрасли приводят к частым отказам, перебоям в подаче тепла и срывам графика отопительного сезона.

Модернизация системы теплоснабжения подразумевает повышение энергоэффективности, экологической безопасности и надежности сетей и является одной из важных задач, решаемых в сфере жилищно-коммунального хозяйства не только в России, но и в мире.

К примеру, существующая энергетическая политика государств-членов Европейского союза направлена на повышение энергоэффективности систем теплоснабжения и защиту окружающей среды. При внедрении новых технологий в области энергетики для зданий и снижении потребления энергии, необходимой для отопления помещений, проводятся изменения в системах централизованного теплоснабжения для сохранения их конкурентоспособности по сравнению с альтернативными индивидуальными решениями [3]. В основном это модернизация и реконструкция тепловых станций для выработки и транспортировки тепловой энергии и привлечение инвестиций для повышения энергоэффективности в сфере коммунальных услуг [4].

Ведущие российские ученые также продолжительное время работают над совершенствованием теоретической и методологической базы в этой отрасли, рассматривая разные варианты улучшения работы систем теплоснабжения. Так, например, проводятся расчеты математического моделирования работы насосной станции

[5], усовершенствование и урегулирование рыночных тарифных отношений в сфере теплоснабжения [6], проводится анализ по внедрению инновационных технологий в системы теплоснабжения [7].

Обновление инфраструктуры систем теплоснабжения с использованием современных материалов и технологий – важное направление развития отечественной энергетической отрасли. Использование современных технологий позволяет увеличить срок службы оборудования, повысить его энергоэффективность, снизить вероятность отказов, следовательно, значительно улучшить качество теплоснабжения и сделать его более доступным и эффективным для потребителей. Сейчас в обслуживающих организациях особое внимание уделяется обучению персонала и внедрению современных технологий контроля и управления системой теплоснабжения.

Это тем более актуально, что цифровая трансформация и автоматизация промышленности являются важными приоритетами в развитии страны. Отечественные компании активно инвестируют в повышение уровня защищенности своих систем кибербезопасности. Специалисты считают, что спрос на эти системы обусловлен растущими потребностями в автоматизации производства. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) применяются на российских предприятиях и показали свою эффективность и актуальность в условиях пандемии [8, 9].

Под АСУТП обычно понимается комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию основных операций технологического процесса на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно завершенный продукт. Также составными частями АСУТП могут служить отдельные системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс.

Как правило, АСУТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средств обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовых

элементов автоматики: датчиков, контроллеров, исполнительных устройств. Внедрение системы автоматизации – достаточно трудоемкий процесс, который требует длительного времени и больших финансовых затрат, поэтому предприятия, которые не обладают достаточными финансовыми возможностями, могут автоматизировать свое производство частично [10].

Автоматизация технологических и производственных процессов, работ является ключевой ветвью развития, переподготовки и экономического совершенствования отечественной энергетической сферы. Рассматриваемый технологический процесс подразумевает наделение специализированного оборудования и приборов функциями управления, обработки информации и контроля.

В целях обеспечения бесперебойной работы объекта и правильной работы крупных тепловых сетей, а также тепловых магистралей, которые расположены в труднодоступных районах со сложным рельефом или в удаленных районах селитебной застройки, рекомендуется предусмотреть установку повысительных насосных станций. Они нужны для поддержания требуемых параметров теплоносителя и обеспечения качественным теплоносителем потребителей тепловой энергии.

Ресурсоснабжающие организации, как зарубежные, так и отечественные, также активно изучают вопросы модернизации и повышения эффективности системы теплоснабжения, стремясь улучшить взаимодействие между источниками тепла и конечными потребителями теплоносителя. Однако существует ряд методик модернизации систем теплоснабжения, которые пока трудно реализовать из-за их высокой стоимости

или потребности в значительных материальных ресурсах [11].

Одной из доступных методик, набирающей популярность среди ресурсоснабжающих организаций, является реконструкция объектов и субъектов теплоснабжения и установка новых энергетических агрегатов с учетом увеличения потенциала для развития инфраструктуры крупных городов.

Цель данного исследования заключается в анализе процесса модернизации систем теплоснабжения при реконструкции и установке повысительных насосных станций в условиях жилой застройки.

2. Материалы и методы

Современные теплоснабжающие организации следуют требованиям федеральных норм и правил, таких как:

- Приказ Минэнерго России от 24.03.2003 № 115², который устанавливает требования по технической эксплуатации тепловых энергоустановок;
- Федеральный закон № 261-ФЗ³, который регулирует мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности для создания правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Авторы предлагают рассмотреть модернизацию системы теплоснабжения на примере крупного города с численностью жителей около 1 млн человек, где находятся в работе около 10 ПНС.

Повысительная насосная станция – это сложный технический комплекс, состоящий из обо-

² Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок: утверждены приказом Минэнерго РФ от 24.03.2003 № 115 : Зарегистрировано в Минюсте РФ 2 апреля 2003 г. № 4358. – Текст : электронный // ГАРАНТ : сайт. – URL: <https://base.garant.ru/185671/> (дата обращения: 10.04.2024).

³ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ : принят Государственной Думой 11 ноября 2009 года : одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 года. – Текст : электронный // ГАРАНТ : сайт. – URL: <https://base.garant.ru/12171109/> (дата обращения: 10.04.2024).

дования и сооружений, предназначенных для перекачки теплоносителя магистральной тепловой сети и регулирования гидравлического режима. Основным элементом насосной станции является насосный агрегат, включающий в себя один или несколько насосов, запорную арматуру, приводные электродвигатели, системы нагнетательных и всасывающих трубопроводов и средства измерения технических параметров [12].

ПНС повышают параметры теплоносителя, а именно давление в системе, до требуемых показателей и обеспечивают транспортировку тепловой энергии до удаленного конечного потребителя. В системе теплоснабжения ПНС является одним из главных элементов. Принцип ее работы основан на использовании насосов, которые перекачивают теплоноситель через трубопроводы от источника тепла к потребителям. В зависимости от конфигурации системы и условий эксплуатации насосы могут быть разного типа и мощности. При правильном подборе насосов и

настройке их работы обеспечена стабильная работа всей системы теплоснабжения и минимизация затрат на тепловую энергию.

Современные насосные станции обычно оснащены датчиками контроля давления, температуры и расхода теплоносителя, частотными преобразователями, что позволяет оперативно реагировать на изменения параметров в системе и предотвращать аварийные ситуации [13]. Все это в совокупности позволяет обеспечивать надежную и эффективную работу системы теплоснабжения для комфорта конечных потребителей.

Для каждого проектируемого объекта разрабатывается индивидуальная функциональная схема автоматизации. Условия разработки функциональной схемы автоматизации зависят от предоставленного технического задания, а также от условий дальнейшей работы объекта. Вышеуказанные условия прописываются в рамках проектно-сметной документации. На рис. 1 и 2 показаны функциональная схема автоматизации

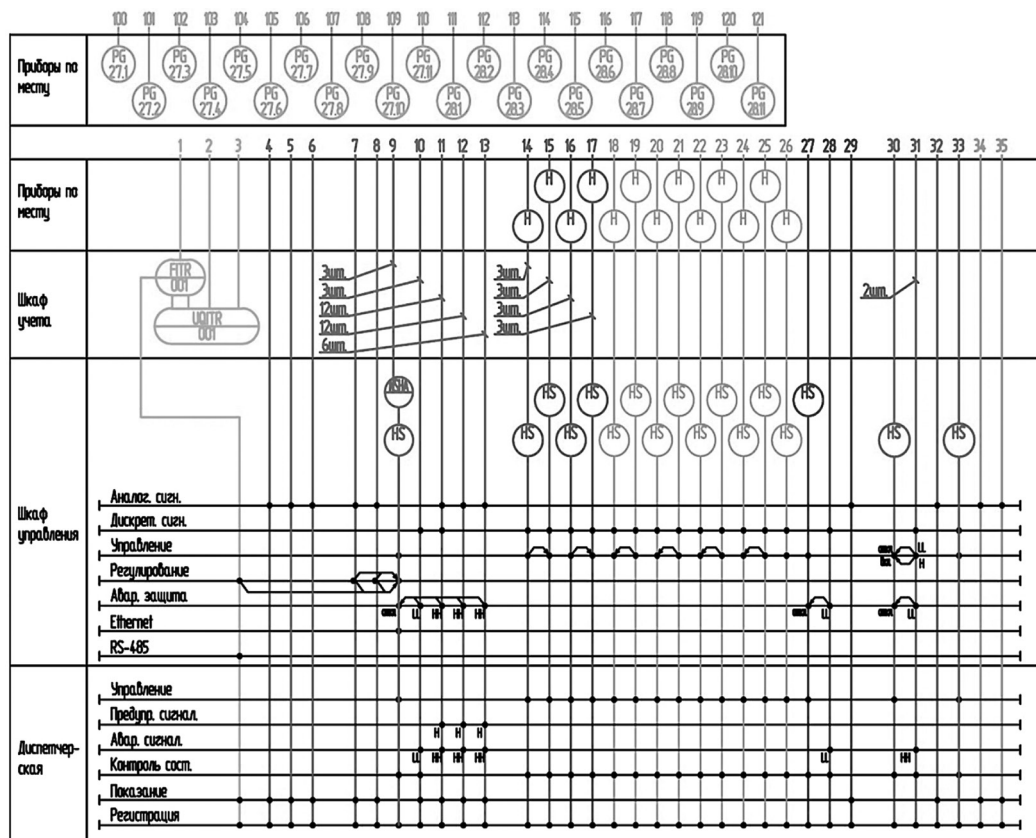


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации ПНС
Fig. 1. Functional scheme of booster pumping station automation

и принципиальная схема, которые разрабатываются при проектировании новых ПНС в городе с численностью жителей около 1 млн человек. В случае аварийной ситуации на объекте через пульт управления дистанционно подается сигнал оператору.

Сигналом о срабатывании является какое-либо «критичное» отклонение параметров от нормы, заложенное для недопущения остановки ПНС (например, снижение напряжения на объекте). В этом случае сработает автоматический ввод резерва для переподключения объекта к другому источнику ввода. Автоматика на ПНС полностью запускает все режимы работы оборудования и не допускает остановки процессов на ПНС.

Условные обозначения функциональной схемы автоматизации рис. 1 по позициям представлены в таблице 1.

По техническим решениям, разработанным в проектной документации, на принципиальной схеме (рис. 2) насосная группа установлена на обратном контуре для поддержания давления в системе в обратном трубопроводе в сторону источника теплоты.

Таблица 1/Table 1
Условные обозначения функциональной
схемы автоматизации
Conventional signs of the automation functional
diagram

Позиция обозначения	Наименование
1	Расходомер-счетчик
2	Термопреобразователь сопротивления
3	Преобразователь давления
4	Реле давления
5	Преобразователь давления
6	Датчик вибрации подшипников
7	Датчик температуры подшипников
8	Датчик температуры обмоток электродвигателя
9	Кран шаровой
10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 34	Электропривод, установленный на поворотном затворе
11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 33	Поворотный затвор
21	Термопреобразователь сопротивления
27, 28	Манометр
29	Термометр
30	Поплавковый датчик уровня
31	Кран шаровой
32	Электропривод, установленный на шаровом кране
100–121	Манометры, установленные по месту

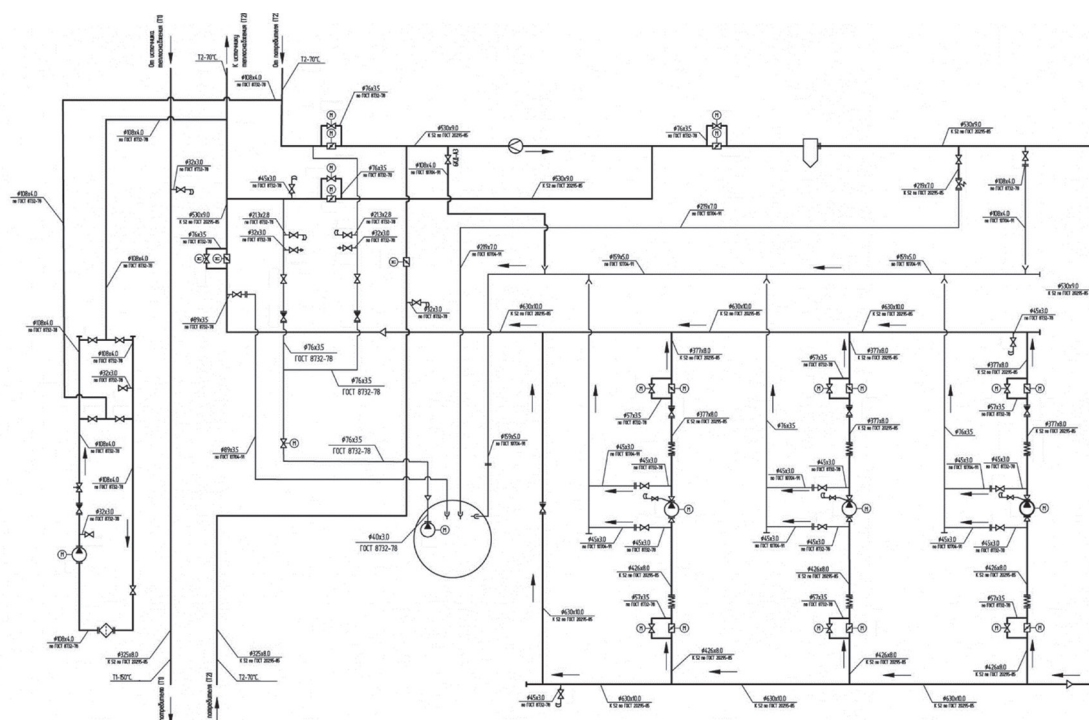


Рис. 2. Принципиальная схема ПНС
Fig. 2. Circuit diagram of the booster pumping station

Существующие методики модернизации, в данном случае модернизации существующей ПНС, направлены на замену (демонтаж) старого оборудования с последующей установкой нового и современного оборудования (насосных агрегатов, запорной и запорно-регулирующей арматуры).

При технической возможности применяется дистанционное и автоматизированное управление работой на станции, соответствующее современным тенденциям.

При строительстве новых ПНС на стадии проектирования предусматривается новое оборудование, которое будет обеспечивать требуемые параметры теплоносителя (давление) в системе теплоснабжения от источника теплоты до конечного потребителя в зависимости от конфигурации расположения насосной группы на подающем и/или обратном контурах. Конфигурация расположения насосной группы определяется в зависимости от условий местонахождения района, а также необходимости поддержания давления на определенном контуре системы теплоснабжения во избежание «просадки» параметров теплоносителя.

3. Результаты и обсуждение

В условиях крупного города с численностью около 1 млн человек модернизация системы теплоснабжения должна проводиться с особым вниманием к техническим и социальным аспектам. Необходимо рассмотреть все возможные варианты повышения эффективности системы, улучшения ее надежности и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Для анализа параметров теплоносителя был рассмотрен один из примеров проведенной реконструкции тепловой сети (модернизации субъекта системы теплоснабжения) в условиях крупного города с численностью около 1 млн граждан, а именно реконструкция ПНС.

Сбор параметров был осуществлен благодаря автоматизированной системе коммерческого учета тепловой энергии тепловой сети мониторинга, пьезометрические графики с критическими точками построены с помощью системы для

создания карт, моделирования инженерных сетей и разработки ГИС-приложений ZuluGIS.

До реконструкции на ПНС были установлены две группы центробежных насосных агрегатов на подающем и обратном контурах. На каждом контуре были установлены по 3 насосных агрегата с производительностью 2 500 м³/ч, напором 60 м вод. ст. (марка насоса СЭ 2500-60) и по 1 насосу с производительностью 1 250 м³/ч, напором 70 м вод. ст. (марка насоса СЭ 1250-70). Режим работы насосных агрегатов на каждом контуре: 3 в работе, 1 в резерве.

После реконструкции ПНС были установлены центробежные насосные агрегаты на подающем и обратном контурах по 4 насоса с производительностью 3 335 м³/ч, напором 67 м вод. ст. (марка насоса Wilo SCPE 500-600 DV MEDI-CCW-800/6-T6-I2/EX-FC-Pt100-Vib). Режим работы насосных агрегатов на каждом контуре: 3 в работе, 1 в резерве.

На рис. 3 показан пьезометрический график до реконструкции ПНС. На графике видны «просадки» в параметрах теплоносителя: минимальная разница давления на подающем и обратном трубопроводах, – выделенные на графике прямоугольником. При анализе конечные потребители на распределительной тепловой камере получали параметры по подающему и обратному трубопроводам с минимальной разницей по напору в системе. Разница напора влияет на показатель движущей силы теплоносителя, а именно на скорость теплоносителя в трубопроводе.

На рис. 4 показан пьезометрический график после реконструкции ПНС. На данном графике видны значительные отличия на участке, где ранее были «просадки» и низкие показатели у конечного потребителя на распределительной камере – увеличена разница напора между подающим и обратным трубопроводами.

Параметр разницы напора в тепловой сети имеет огромное значение для обеспечения эффективного функционирования системы. Разница напора является основным параметром, определяющим расход теплоносителя в системе [14]. Этот параметр влияет на эффективность работы оборудования, на распределение тепла по сети.

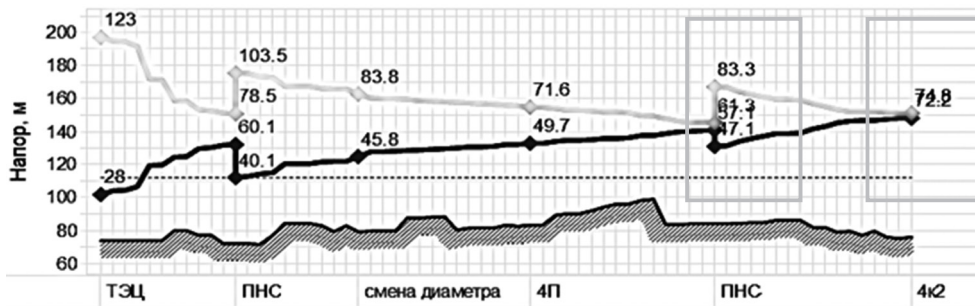


Рис. 3. Пьезометрический график от теплового источника до распределительной тепловой камеры до реконструкции существующей ПНС
 Fig. 3. Piezometric diagram from the heat source to the heat distribution chamber before the reconstruction of the existing booster pumping station

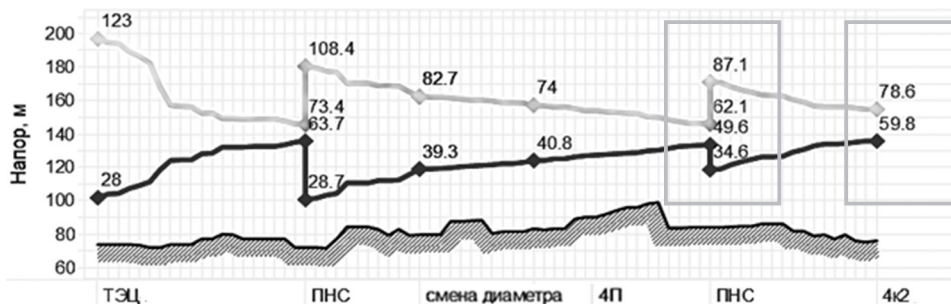


Рис. 4. Пьезометрический график от теплового источника до распределительной тепловой камеры после реконструкции существующей ПНС
 Fig. 4. Piezometric diagram from the heat source to the heat distribution chamber after the reconstruction of the existing booster pumping station

Кроме того, разница напора влияет на надежность работы оборудования. Допущение большой и минимальной разницы напора может привести к износу и поломкам оборудования, что повлечет за собой дополнительные расходы на ремонт и замену деталей. Так, например, при минимальном параметре напора насосное оборудование будет часто выключаться. При превышающем параметре насос будет работать при полной нагрузке, что уменьшит срок износа комплектующих насосного оборудования. Поэтому поддержание оптимального уровня разницы напора необходимо для продления срока службы оборудования.

При рассмотрении вопроса модернизации тепловой сети и улучшения поставки теплоносителя для быстро застраиваемых и развива-

ющихся районов города возможно устройство новых ПНС. Новые ПНС сразу предполагают наличие АСУТП. В этом случае не требуется постоянное присутствие персонала на объекте. Предусмотрены центробежные насосные агрегаты с производительностью 1 065 м³/ч, напором 39 м вод. ст. Режим работы насосных агрегатов на каждом контуре: 2 в работе, 1 в резерве (марка насоса CNP DMC250-370E-160/4). Результаты представлены на рис. 5 и 6.

Как и в случае с реконструкцией, видны значительные отличия между параметрами теплоносителя, а именно выравнивание параметров теплоносителя без перегрузки тепловых сетей на участках и повышение разницы напора у конечной распределительной камеры.

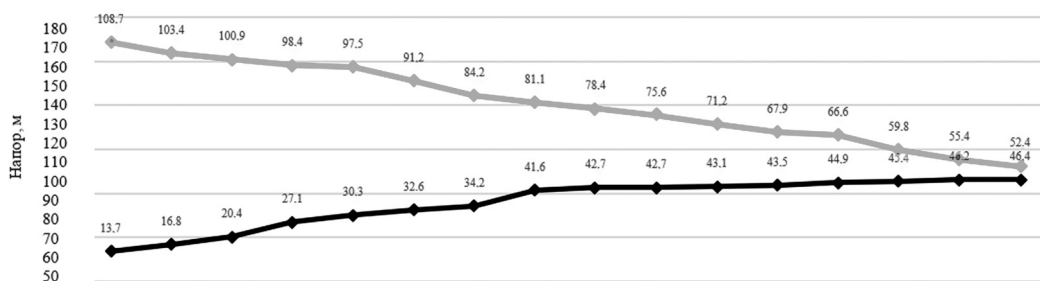


Рис. 5. Пьезометрический график от теплового источника до распределительной тепловой камеры до устройства новой ПНС

Fig. 5. Piezometric diagram from the heat source to the heat distribution chamber until the construction of the new booster pumping station

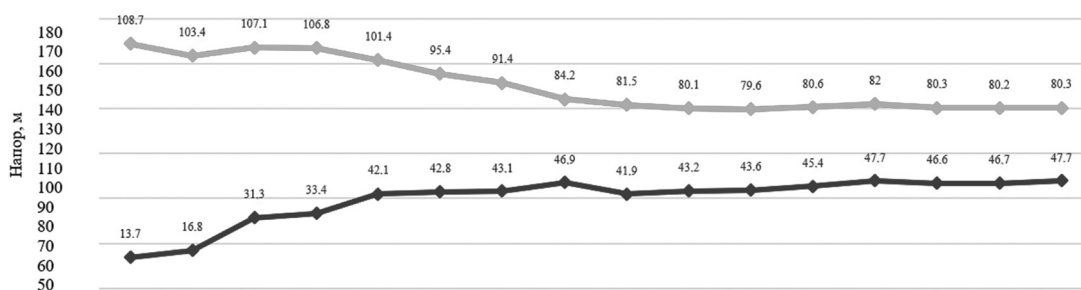


Рис. 6. Пьезометрический график от теплового источника до распределительной тепловой камеры после устройства новой ПНС

Fig. 6. Piezometric diagram from the heat source to the heat distribution chamber after the construction of the new booster pumping station

4. Заключение

Для улучшения работы централизованных систем теплоснабжения в селитебной застройке необходимо проведение комплексных технических обследований, разработка планов мероприятий по модернизации и реконструкции оборудования и сетей, а также повышение уровня квалификации персонала. В связи с активным изменением застройки крупных городов требуется поддержание определенных гидравлических режимов для поддержания давления в системе теплоснабжения. Возникает необходимость замены установленного устаревшего оборудования на существующих ПНС, применения современных технологий и оборудования, повышение надежности работы насосных станций как элементов системы теплоснабжения.

Обновление и модернизация инфраструктуры систем теплоснабжения, реализация мероприятий по повышению надежности систем

теплоснабжения являются долгосрочными процессами, важный аспект которых – ранжирование по значимости и эффективности инвестиционных мероприятий.

На основании вышерассмотренного наглядно видно, что характеристики тепловой сети после реконструкции существующей ПНС увеличились: общая производительность насосных групп, находящихся на подающем и обратных контурах, в 1.33 раза, напор в системе на подающем и обратных контурах – в 1.12 раза. Это свидетельствует о повышении параметров тепловой сети для стабилизации общей работы в системе как в сторону потребителей, так и в сторону источника тепловой энергии.

Современные технологии позволяют автоматизировать процессы управления насосами, что делает эксплуатацию станции более эффективной и удобной.

Кроме того, модернизация позволяет улучшить контроль за состоянием оборудования и оперативно реагировать на возможные неисправности. Повышение эффективности и надежности работы насосов позволяет обеспечить более стабильную подачу теплоносителя, снижает

расход энергии и уменьшает число аварийных ситуаций. Модернизация повысительных насосных станций повышает общую эффективность системы теплоснабжения, а именно улучшает качество поставки параметров теплоносителя до конечного потребителя.

Библиографический список

1. Условия модернизации системы теплоснабжения в России // Издательский дом «Гелион» : сайт. – URL: <https://helion-ltd.ru/energitehnologia-l/> (дата обращения: 12.04.2024).
2. Жилина, Т. С. Исследование работы централизованных систем теплоснабжения в условиях селитебной застройки / Т. С. Жилина, М. Н. Павлова. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-1-36-44. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 1 (103). – С. 36–44.
3. On the influence of decommissioning an area thermal substation in a district heating system on heat consumption and costs in buildings – Long term field research / A. Siuta-Olcha, T. Cholewa, M. Gomółka [et al.]. – DOI 10.1016/j.seta.2021.101870. – Текст : электронный // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2022. – Vol. 50. – P. 101870. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138821008845> (дата обращения: 18.05.2024).
4. Matisoff, D. C. Modernizing the energy infrastructure at federal facilities: Should utilities play a bigger role? / D. C. Matisoff, M. A. Brown, S. Kale. – DOI 10.1016/j.tej.2022.107078. – Текст : непосредственный // The Electricity Journal. – 2022. – Vol. 35, No. 2. – P. 107078.
5. Mathematical modelling of pump station / K. D. Semenova, N. V. Savosteenko, N. M. Maksimov, N. A. Belov. – DOI 10.1088/1757-899X/919/6/062063. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, July 31, 2020. Vol. 919. International Scientific Conference CAMSTech-2020: Advances in Material Science and Technology. – Krasnoyarsk : Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 62063.
6. Файн, Б. И. Либерализация отношений в сфере теплоснабжения Российской Федерации: предпосылки, первые результаты и тарифные последствия. – DOI 10.38050/01300105202212. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2022. – № 1. – С. 27–51. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/liberalizatsiya-otnosheniy-v-sfere-teplosnabzheniya-rossiyskoy-federatsii-predposylki-pervyye-rezultaty-tarifnye-posledstviya>.
7. Рабочих, М. В. Инновационные технологии в теплоснабжении / М. В. Рабочих. – Текст : непосредственный // Экономика и социум. – 2021. – № 12-2 (91). – С. 421–428.
8. Автоматизация промышленности. Тренды-2024 // Промышленные страницы : сайт. – 2024. – 24 января. – URL: <https://indpages.ru/solutions/avtomatizatsiya-promyshlennosti-trendy-2024> (дата обращения: 18.05.2024).
9. Шавернева, Н. А. Проблемы автоматизации на производственных предприятиях. Организационное проектирование в современных условиях / Н. А. Шавернева, А. М. Шавернева. – Текст : непосредственный // Актуальные исследования. – 2021. – № 47 (74). – С. 102–104.
10. Луков, Д. К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) – Текст : непосредственный // European science. – 2019. – № 2 (44). – С. 19–21. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannyye-sistemy-upravleniya-tehnologicheskim-protsessom-asu-tp> (дата обращения: 19.05.2024).
11. Бектемиров, А. Пути модернизации и совершенствования системы централизованного теплоснабжения / А. Бектемиров. – Текст : непосредственный // Архивариус. – 2020. – № 2 (47). – С. 128–130.
12. Кокорина, О. М. Анализ работы насосных подстанций, применяемых в водяных тепловых сетях / О. М. Кокорина, А. А. Лемаева, М. А. Мунарева. – Текст : непосредственный // Исследования молодых ученых : материалы Международной научной конференции, Казань, 20–23 июня 2019 года. – Казань : Молодой ученый, 2019. – С. 18–21.
13. Бажанов, Н. А. Оптимизация режимов работы насосных станций в системах теплоснабжения / Н. А. Бажанов. – Текст : непосредственный // Шаг в науку. – 2020. – № 2. – С. 29–32.
14. Чуйкина, А. А. Проектирование оптимальной трубопроводной трассы тепловой сети / А. А. Чуйкина, А. В. Лобода, О. А. Сотникова. – DOI 10.34031/2071-7318-2021-6-2-28-37. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2021. – № 2. – С. 28–37.