



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ/ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.98> EDN: VODJTP

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МОДЕРНИЗИРУЕМОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Научная статья

Басс М.С.^{1,*}, Иванов С.А.², Тузов А.В.³, Середкин А.А.⁴, Батухтин А.Г.⁵¹ ORCID : 0000-0002-3151-6857;⁴ ORCID : 0009-0008-9129-7407;⁵ ORCID : 0000-0002-3798-3675;^{1, 2, 3, 4, 5} Забайкальский государственный университет, Чита, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bms77[at]mail.ru)

Аннотация

В работе представлены результаты обследования системы теплоснабжения модернизируемого промышленного предприятия, расположенного в Забайкальском крае. Проведен анализ фактических параметров теплоносителя (давления, температуры, расхода) на источниках тепла и у основных потребителей. Выполнен поверочный расчет насосного оборудования «Энергокомплекса» и «Дизельной котельной». Выявлены отклонения в работе насосного оборудования, не соответствующие условиям работы в системе теплоснабжения, которые могут быть вызваны как состоянием насоса, так и сети. Установлено, что сетевые насосы работают с недостаточным напором для обеспечения всех потребителей, что требует корректировки настроек частотного регулирования или пересмотра гидравлической схемы. Для повышения надежности и энергоэффективности системы теплоснабжения предприятия необходимо проведение гидравлической наладки сети, ремонт или замена неэффективно работающих насосных агрегатов.

Ключевые слова: система теплоснабжения, гидравлический режим, насосное оборудование, поверочный расчет, Забайкальский край.

A STUDY OF THE HYDRAULIC CONDITIONS AT AN INDUSTRIAL FACILITY UNDERGOING MODERNISATION IN ZABAYKALSKY KRAY

Research article

Bass M.S.^{1,*}, Ivanov S.A.², Tuzov A.V.³, Seredkin A.A.⁴, Batukhtin A.G.⁵¹ ORCID : 0000-0002-3151-6857;⁴ ORCID : 0009-0008-9129-7407;⁵ ORCID : 0000-0002-3798-3675;^{1, 2, 3, 4, 5} Transbaikal State University, Chita, Russian Federation

* Corresponding author (bms77[at]mail.ru)

Abstract

The work presents the results of an inspection of the heating supply system at an industrial enterprise undergoing modernisation, located in Zabaykalsky Krai. An analysis was carried out of the actual parameters of the heat transfer fluid (pressure, temperature, flow rate) at the heat sources and at the main consumers. A verification analysis was performed for the pumping equipment at the «Energy Complex» and the «Diesel Boiler Room». Deviations in the operation of the pumping equipment have been identified which do not comply with the operating conditions of the heat supply system; these may be caused by the condition of either the pump or the network. It has been determined that the network pumps are operating with insufficient head to supply all consumers, which requires adjustment of the frequency control settings or a review of the hydraulic circuit. To improve the reliability and energy efficiency of the enterprise's heat supply system, it is necessary to carry out hydraulic commissioning of the network and to repair or replace inefficiently operating pump units.

Keywords: heating system, hydraulic conditions, pumping equipment, verification analysis, Zabaykalsky Krai.

Введение

Системы теплоснабжения промышленных предприятий представляют собой сложные инженерные комплексы, эффективность работы которых напрямую влияет на себестоимость выпускаемой продукции и энергетическую безопасность объекта. В условиях модернизации производства, изменения объемов выпуска продукции или реконструкции цехов, фактические гидравлические и тепловые режимы зачастую начинают отличаться от проектных. Это приводит к разрегулировке сети, «перетопам» или недогреву отдельных объектов, повышенному износу оборудования и перерасходу электроэнергии на перекачку теплоносителя [1], [2].

Особую актуальность данная проблема приобретает для регионов с резко континентальным климатом, таких как Забайкальский край. Суровые зимние условия предъявляют повышенные требования к надежности и отказоустойчивости систем отопления [3]. Модернизация промышленных площадок в таких условиях требует тщательного аудита существующих тепловых сетей и источников тепла для выявления «узких мест» и потенциальных зон риска [4]. Присоединение новых нагрузок или изменение технологических процессов без корректировки гидравлических режимов может привести к дисбалансу системы. Для предприятия в Забайкальском крае, где расчетная нагрузка отопления составляет 6,331 Гкал/ч, а также присутствуют нагрузки горячего водоснабжения (ГВС)



и технологической линии, важно гарантировать, что существующее насосное и теплообменное оборудование способно обеспечить требуемые параметры [5], [6]. Несоответствие фактических напоров и расходов паспортным данным насосов является индикатором либо неправильного выбора оборудования, либо его неисправности, либо повышенного гидравлического сопротивления сети. Выявление таких несоответствий позволяет своевременно принять меры по наладке системы, замене или ремонту оборудования, что предотвращает аварийные ситуации и снижает эксплуатационные затраты [7].

Целью данной работы является оценка соответствия фактических гидравлических режимов системы теплоснабжения модернизируемого промышленного предприятия проектным (паспортным) характеристикам оборудования на основе анализа натурных замеров и поверочных расчетов насосных агрегатов.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования является система теплоснабжения горнопромышленного предприятия Забайкальского края, включающая источник тепла («Энергокомплекс»), насосные станции, тепловые сети и потребители.

Для отопления объектов используется горячая вода с параметрами 95/70⁰С, которая нагревается в пластинчатых теплообменниках на источнике тепла и далее подается к потребителям. Расчетная присоединенная нагрузка отопления составляет 6,331 Гкал/ч. Для горячего водоснабжения используется горячая вода с температурой 68⁰С по схеме с рециркуляцией 57⁰С. Расчетная присоединенная нагрузка ГВС составляет 0,4393 Гкал/ч. Технологическая линия работает с использованием воды с температурным графиком 80/60⁰С. Расчетная присоединенная технологическая нагрузка составляет 0,525 Гкал/ч.

Испытания проводились в соответствии с РД 153-34.1-09.164-00 и РД 153-34.0-20.523-98 в январе 2025 г. в период пиковых низких температур (согласно климатическим нормам Забайкальского края, отопительный сезон характеризуется экстремальными морозами в данное время). Средняя температура наружного воздуха за период замеров составила –28,5⁰С, что соответствует 96% от расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления. Режим работы предприятия в период обследования был штатным, без ограничений теплопотребления. В ходе проведения опытов измерялись расходы, давления, температуры теплоносителя [8]. Замеры параметров проводились в двух режимах:

- 1) штатными приборами, фиксирующими показания стационарных манометров и термометров на насосных группах и теплообменниках «Энергокомплекса», а также на вводах к потребителям;
- 2) переносным оборудованием — расходы питательной воды фиксировали расходомером Стримлюкс (Россия); точность калибровки ±3%.

Температуру воды измеряли контактным цифровым термометром ТК-5.09 (Россия), погрешность ±0,5%. Температура воздуха и поверхностей регистрировалась инфракрасным пирометром DT-8869H (КНР), с разрешающей способностью 0,1⁰С и пределом допускаемой относительной погрешности ±1%. Давление воды измерялось штатными техническими датчиками давления. Это позволило верифицировать данные штатных приборов и провести замеры в точках, не оснащенных стационарным учетом

Поверочный расчет насосных агрегатов заключался в определении фактической рабочей точки насоса (подача Q , м³/ч; напор H , м) и ее нанесении на паспортную характеристику, представленную в инструкциях по эксплуатации (Wilo, Grundfos). Степень загрузки насоса оценивалась как отношение фактической подачи к номинальной (максимальной) подаче для данной частоты вращения рабочего колеса [9], [10]. Анализировалось также соответствие фактического напора рабочей зоне характеристики.

Основные результаты и обсуждение

В ходе исследования был выполнен анализ замеров на 11 ключевых узлах системы, а также проведен детальный разбор работы 8 групп насосного оборудования «Энергокомплекса» и насосной группы «Дизельной котельной» (рис. 1).

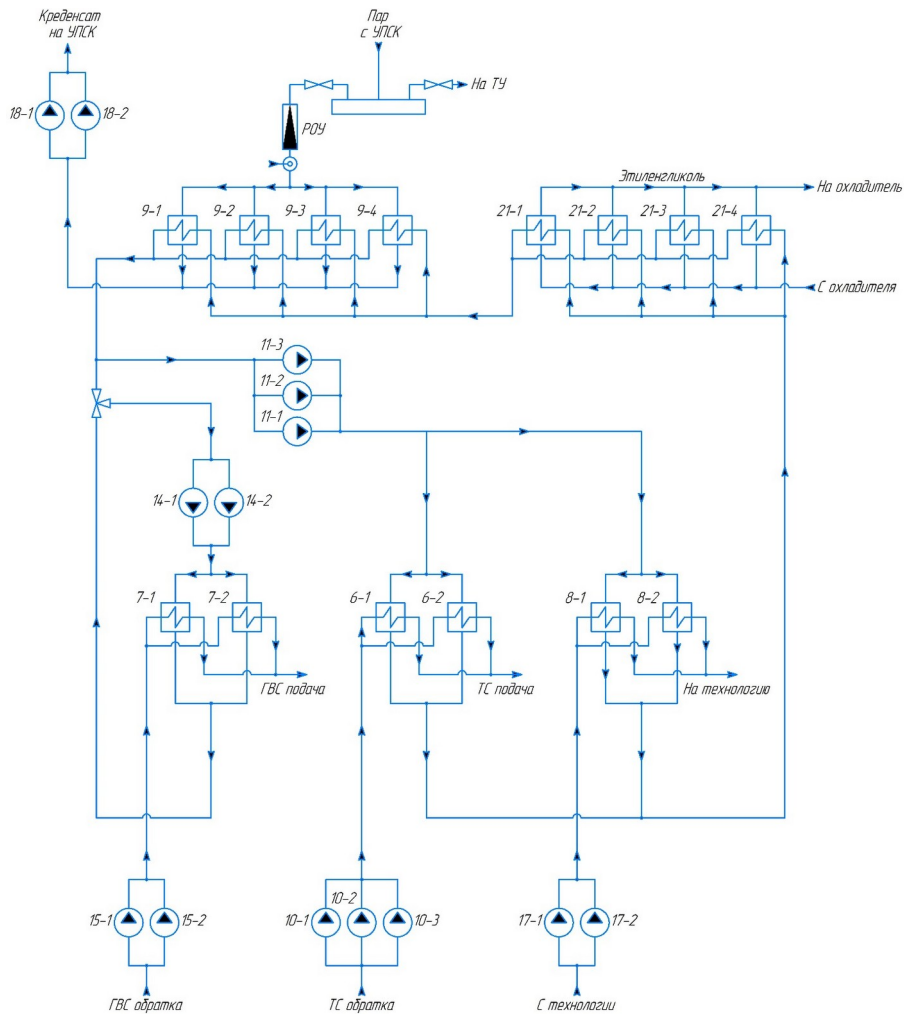


Рисунок 1 - Тепловая схема предприятия:

УПСК – производственный цех; РОУ – редукционно-охладительная установка; ТУ – турбоустановка; ТС – тепловая сеть; ГВС – горячее водоснабжение; цифрами обозначены теплообменники, насосы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.98.1>

Анализ замеров на источнике тепла («Энергокомплекс») показал на входе следующие параметры сетевой воды: расход 369-373 м³/ч, давление на входе в насосную группу 0,69 МПа, на выходе 0,84 МПа (насосная группа 15). Это свидетельствует о создании необходимого перепада давления для преодоления сопротивления сети. Расход на ГВС составил 12-13 м³/ч, на технологию — 38–42 м³/ч, что коррелирует с заявленными нагрузками.

Анализ работы теплообменного оборудования установил, что теплообменник ГВС (гр. 7): нагрев сетевой воды с 96 °С до 81 °С, при этом нагреваемая вода для ГВС подогревается с 57 °С до 68 °С. Перепад давления по нагреваемой среде составляет 0,03 МПа (с 0,82 до 0,79 МПа), что указывает на умеренное гидравлическое сопротивление. Теплообменник технологической линии (гр. 6): осуществляется нагрев технологической воды с 79 °С до 84 °С за счет сетевой воды, остывающей с 88 °С до 84 °С. Потери давления здесь более существенны (0,09 МПа), что может свидетельствовать о загрязнении пластин или повышенной скорости теплоносителя в каналах [11]. Теплообменник 9: при нагреве среды с 74 °С до 96 °С (подогрев 22 °С) зафиксировано низкое давление греющей среды на входе (0,075 МПа) и выходе (0,05 МПа), что свидетельствует о некорректной работе или подключении к источнику низкого давления.

Результаты замеров у потребителей (ЦПСК, Пожарная часть, АБК — административно-бытовой комплекс, Главный корпус и др.) показывают неравномерность распределения теплоносителя (таблица 1). Температура на вводах колеблется от 84 °С до 93 °С.

Таблица 1 - Сводные данные замеров температуры (Т) и давления (Р) у потребителей

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.98.2>

Объект	Т вход, °С	Т выход, °С	Р вход, МПа	Р выход, МПа	ΔР, МПа
ЦПСК	93	82	0,71	0,56	0,15
Пожарная часть	92	87	0,68	0,53	0,15
АБК	90	86	0,68	0,53	0,15

Объект	Т вход, °С	Т выход, °С	Р вход, МПа	Р выход, МПа	ΔР, МПа
Главный корпус	85	75	0,34	0,30	0,04
Автоколонна	84	70	0,60	0,52	0,08
Дизельная котельная	88	82	0,42	0,48	0,06

Высокий перепад давления (0,15 МПа) на ЦПСК и близлежащих объектах (Пожарная часть, АБК) говорит о том, что эти узлы потребляют достаточное количество энергии и имеют правильно настроенную автоматику или дроссельные шайбы. Напротив, крайне низкий перепад в Главном корпусе (0,04 МПа) свидетельствует о недостаточном располагаемом напоре или о том, что задвижки на этом потребителе открыты не полностью, а сам узел является «ближним» и «задавленным» [12]. Аномалия на «Дизельной котельной» (давление на выходе выше, чем на входе) объясняется работой собственного насоса на этом объекте и требует отдельного анализа его режима.

Результаты поверочного расчета насосов показали, что насосы технологической линии (гр. 17 Wilo-IL 80/200-22/2) имеют загрузку 81%, что является хорошим показателем эффективности [13] и подтверждают верный подбор оборудования. Рабочая точка насоса с подачей 38–42 м³/ч и напором 35,7 м находится в рабочей зоне характеристики при данной частоте вращения (рис. 2). У насосов ГВС (гр. 15 Wilo- IL 32/160-3/2) зафиксирована загрузка 69%, что является приемлемой величиной, но оставляет резерв для увеличения циркуляции в системе ГВС при необходимости; при фактической подаче 12–13 м³/ч и напоре 15,3 м насос работает в зоне оптимальных КПД.

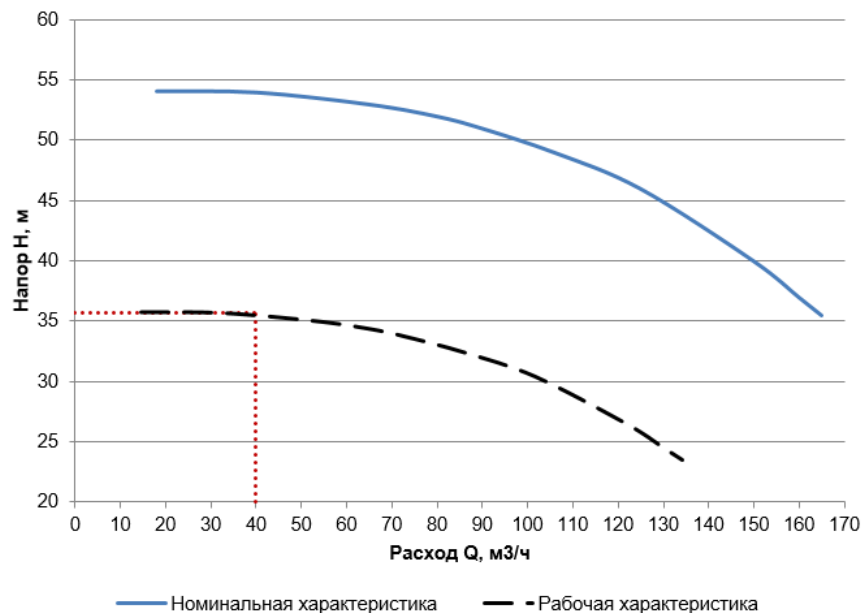


Рисунок 2 - Расходная характеристика насоса Wilo-IL 80/200-22/2
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.98.3>

Два параллельно работающих сетевых насоса (гр. 10 BL 80/210-37/2) обеспечивают суммарную подачу 369-373 м³/ч при напоре 16,3 м, однако они работают на нижней границе своих напорных возможностей. Загрузка 67% и низкий напор могут свидетельствовать о том, что гидравлическое сопротивление магистрального трубопровода ниже расчетного, либо насосы избыточны по напору для данной сети, или регуляторы частоты вращения настроены на поддержание заниженного перепада [14]. Низкий напор сетевых насосов объясняет малый располагаемый перепад у дальних потребителей (например, Главный корпус), так как основная часть напора тратится в магистралях. Фактические напоры насосов внутренних контуров (гр. 14 IPL 80/105-3/2, гр. 11 IL 125/250-11/4, гр. 18 IPL 40-130-2,2/2) 6,6 м, 13,97 м, 19,3 м соответственно, попадают в номинальный диапазон, что говорит об их исправности и соответствии гидравлическим режимам внутренних контуров. Насос контура утилизации тепла (гр. 21 Wilo BL-100/250-11/4) является проблемным узлом (рис. 3): фактический напор 3,06 м не попадает в номинальный диапазон характеристики, что указывает на возможный износ рабочих колес при перекачке водо-гликолевой смеси (ингибитора коррозии), завоздушивание, повышенное местное сопротивление сети или утечки [15]. Низкий напор делает работу контура утилизации неэффективной или вовсе бесполезной.

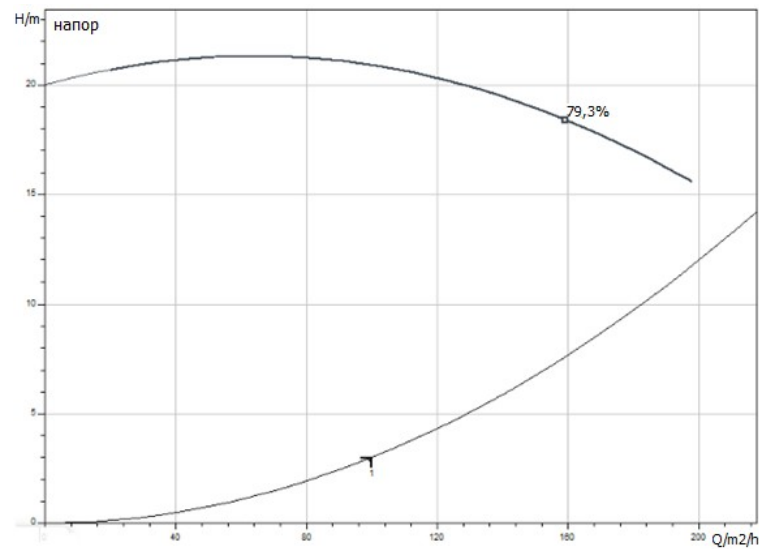


Рисунок 3 - Расходная характеристика насоса Wilo BL-100/250-11/4
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.98.4>

Насос Grundfos TP 65-310, работающий в системе теплоснабжения дизельной котельной, показал низкую эффективность — при подаче 45 м³/ч создаваемый напор составляет всего 6 м, что соответствует нагрузке 46% (рис. 4). Рабочая точка находится далеко за пределами оптимальной зоны характеристики, что может свидетельствовать, что насос функционирует в режиме «захлебывания» или, наоборот, работает на полностью открытую сеть с крайне низким сопротивлением [16]. Вероятно, насос значительно избыточен по мощности для данного участка сети, либо имеет место серьезная механическая неисправность (поломка рабочего колеса, разрушение подшипников). Эксплуатация в такой точке ведет к перерасходу электроэнергии и быстрому износу оборудования.

Оценка энергетических и экономических потерь показала, что избыточная потребляемая мощность насоса составляет около 4,2 кВт, что ведет к дополнительным затратам (при тарифе 5,2 руб./кВт·ч) до 105 тыс. руб./год. В комплексе, с учетом недогрева Главного корпуса, сопровождающегося дополнительными теплотерями 0,15 Гкал/ч (≈ 0,9 млн рублей за отопительный сезон), снижения эффективности насоса контура утилизации (гр. 21) с перерасходом электроэнергии 2,8 кВт (≈ 70 тыс. руб/год), общий экономический ущерб от выявленных нарушений режимов может достигать до 1 млн руб./год без учета затрат на внеплановый ремонт.

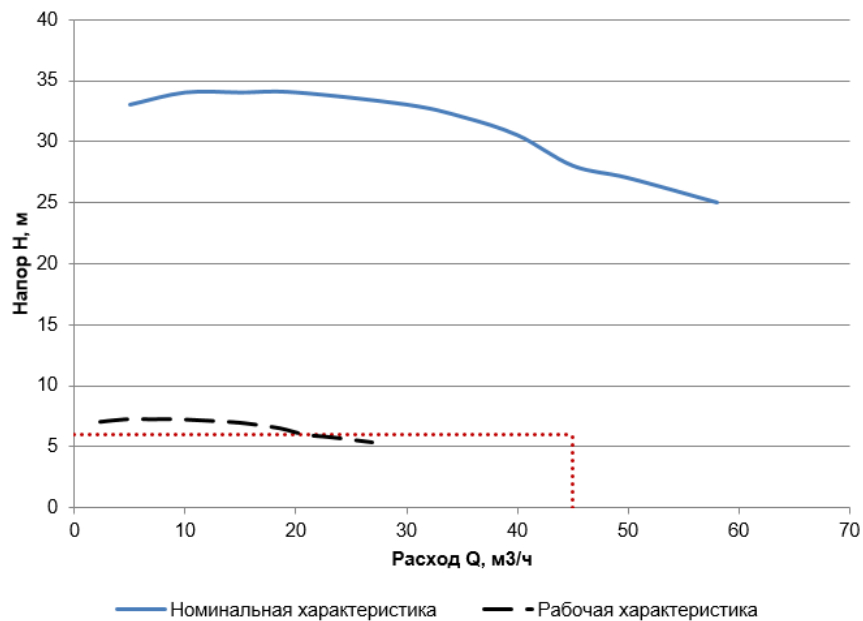


Рисунок 4 - Расходная характеристика насоса Grundfos TP 65-310
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.98.5>

Проведенный анализ выявил ряд системных проблем в гидравлическом режиме предприятия, основная из которых — несоответствие напора, создаваемого сетевыми насосами (гр. 10, рис. 1), и необходимого напора для дальних потребителей. Это классический случай разрегулировки гидравлической сети, когда «ближние» потребители отбирают слишком много теплоносителя, а «дальним» его не хватает [17]. Подтверждением этому служат высокие перепады давления на ближних узлах (ЦПСК) и низкие на дальних (Главный корпус).

Состояние насосного оборудования в целом оценивается как удовлетворительное, за исключением двух критических точек: насоса утилизации тепла (гр. 21 рис. 1) и насоса дизельной котельной. Работа этих агрегатов в нерасчетных режимах ведет к прямым финансовым потерям из-за неэффективного использования электроэнергии и потенциально несет риск аварийного выхода из строя [18].

Теплообменное оборудование требует ревизии, особенно аппараты с повышенными потерями давления (гр. 6) и сомнительными параметрами давления греющей среды (гр. 9), наиболее вероятная причина которых подключение теплообменника к ответвлению тепловой сети с заниженным диаметром (заужение после реконструкции), что подтверждается косвенными данными — одновременным низким давлением на входе и выходе при сохраняющемся перепаде 0,025 МПа. Кроме того, отложение солей, коррозионных продуктов, неисправность регулирующего клапана, задвижки на вводе также могут вносить свой вклад в снижение параметров. Повторная балансировка узла возможна после проведения гидравлического расчета участка до теплообменника с натурным промером диаметров, замена участка трубопровода (при подтверждении заужения), промывка теплообменника.

Для оптимизации режимов следует провести наладочный расчет тепловой сети с целью распределения расходов теплоносителя в соответствии с фактическими нагрузками [19], [20], [21]. Это может потребовать установки дроссельных диафрагм или балансировочных клапанов на вводах ближних потребителей. Также необходимо выполнить диагностику и ремонт проблемных насосов (гр. 20 и Grundfos), проверить плотность закрытия обратных клапанов и отсутствие перетоков.

По данным обследований промышленных предприятий Сибири [2], [18], доля насосов, работающих вне оптимальной зоны характеристик, составляет в среднем 22–30 %. В полученных нами данных из обследованных насосных групп нештатный режим выявлен для 25%, что коррелирует с отраслевой статистикой. Типичная величина располагаемого перепада у «дальних» потребителей на промышленных предприятиях Забайкалья варьируется от 0,03 до 0,08 МПа [14]. Полученное значение 0,04 МПа для Главного корпуса находится в нижней части этого диапазона, что подтверждает необходимость балансировки. Выявленные нарушения являются типичными для отрасли, но степень их выраженности по отдельным узлам превышает средние значения, что требует особого внимания.

Заключение

В результате инструментального обследования системы теплоснабжения забайкальского горнопромышленного предприятия зафиксированы фактические параметры теплоносителя, свидетельствующие о неравномерности гидравлического режима сети. Установлено, что располагаемый перепад давления у потребителей варьируется от 0,04 МПа до 0,15 МПа, что указывает на недостаточную гидравлическую устойчивость системы и необходимость балансировки. Поверочный расчет насосных агрегатов показал, что большинство насосов (ГВС, отопление технологической линии, внутренние контуры) работают в зоне номинальных характеристик со степенью загрузки 67–81%, что соответствует условиям их эксплуатации. Выявлено два критических отклонения: насос контура утилизации тепла (Wilo BL-100/250-11/4) развивает напор 3,06 м, что значительно ниже номинальных значений, что требует немедленной ревизии системы и самого насоса; насос дизельной котельной (Grundfos TP 65-310) работает с нагрузкой



46% и не соответствует условиям работы системы теплоснабжения, что говорит о его некорректном подборе или неисправности. Сетевые насосы работают с недостаточным напором для обеспечения всех потребителей, что требует корректировки настроек частотного регулирования или пересмотра гидравлической схемы. Для повышения надежности и энергоэффективности системы теплоснабжения предприятия необходимо проведение гидравлической наладки сети, ремонт или замена неэффективных работающих насосных агрегатов и очистка теплообменников с повышенным гидравлическим сопротивлением.

Финансирование

Исследование выполнено за счет государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (НИР № FZZF-2026 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменно-циклонных топливных систем»).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

Research Project No. FZZF-2026 «Comprehensive Study of the Aerodynamic Characteristics of Plasma-Cyclone Fuel Systems».

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. — Москва: Издательство МЭИ, 2001. — 472 с.
2. Бородин Н.К. Совершенствование технологического процесса на тепловых пунктах в системах теплоснабжения / Н.К. Бородин, В.А. Кулагин // Журнал СФУ. Техника и технологии. — 2025. — № 3. — С. 300–324.
3. Полонский В.М. Энергосбережение в системах теплоснабжения зданий и сооружений / В.М. Полонский, Г.И. Титов, В.В. Полонский. — Москва: АСВ, 2015. — 184 с.
4. Копко В.М. Теплоснабжение / В.М. Копко. — Москва: Инфра-М, 2018. — 336 с.
5. Варфоломеев Ю.М. Отопление и тепловые сети / Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Кокорин. — Москва: Инфра-М, 2020. — 480 с.
6. Самарин О.Д. Теплофизические основы проектирования систем отопления и вентиляции / О.Д. Самарин. — Москва: МГСУ, 2019. — 352 с.
7. Краснов В.И. Ремонт и наладка систем теплоснабжения / В.И. Краснов. — Москва: Энергия, 2017. — 312 с.
8. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. Справочник / П.П. Кремлевский. — Санкт-Петербург: Политехника, 2005. — 409 с.
9. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. — Москва: Бастет, 2011. — 520 с.
10. Толстых А.В. Насосы, вентиляторы и компрессоры в системах теплогазоснабжения и вентиляции / А.В. Толстых, Ю.Н. Дорошенко, В.В. Пенявский. — Москва: Инфра-Инженерия, 2022. — 176 с.
11. Тешебаев А. Способы теплопередачи и виды теплообменных оборудований / А. Тешебаев, З.К. Чынгызбек // ReFocus. — 2024. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-teploperedachi-i-vidy-teploobmennyyh-oborudovaniy> (дата обращения: 16.03.2026).
12. Хрусталева Б.М. Теплоснабжение и вентиляция / Б.М. Хрусталева, Л.И. Куценко. — Москва: АСВ, 2012. — 416 с.
13. Лагуточкин А.А. Расчет показателей энергоэффективности работы осевого насоса для установок замкнутого водоснабжения / А.А. Лагуточкин // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2022. — № 4. — С. 1–7.
14. Батухтин С.Г. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии: монография / С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин. — Чита: ЗабГУ, 2018. — 282 с.
15. Инструкция по монтажу и эксплуатации Wilo-CronoLine-IL, CronoTwin-DL, CronoBloc-BL. — Wilo SE, 2017. — 112 с.
16. Grundfos. Каталог насосов для отопления и ГВС. — Grundfos Holding, 2020. — 350 с.
17. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер. — Москва: Энергия, 1976. — 336 с.
18. Середкин А.А. Проблемы энергоэффективности теплоснабжения в Забайкальском крае: монография / А.А. Середкин, С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин. — Чита: ЗабГУ, 2021. — 288 с.
19. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков. — Киев: Таки справы, 2007. — 252 с.
20. Batuhitin A.G. Optimization for the equipment in combined heating systems / A.G. Batuhitin, M.S. Bass, S.G. Batuhitin // Modern Applied Science. — 2015. — Vol. 9. — № 5. — P. 93–104.
21. Китиков В.О. Метод гидравлического расчета энергоэффективных систем тепло- и холодоснабжения зданий / В.О. Китиков, В.В. Покотилов // Энергоэффективность. — 2019. — № 11. — С. 24–29.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Sokolov E.Ya. Teplofikatsiya i teplovie seti [Heat generation and heating networks] / E.Ya. Sokolov. — Moscow: Publishing House of the MEI, 2001. — 472 p. [in Russian]
2. Borodin N.K. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa na teplovikh punktakh v sistemakh teplosnabzheniya [Improving the technological process at heating points in heat supply systems] / N.K. Borodin, V.A. Kulagin // Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii [SibFU Journal. Machinery and technology]. — 2025. — № 3. — P. 300–324. [in Russian]
3. Polonskii V.M. Energoberezhenie v sistemakh teplosnabzheniya zdaniy i sooruzheniy [Energy saving in heat supply systems of buildings and structures] / V.M. Polornskii, G.I. Titov, V.V. Polonskii. — Moscow: DIA, 2015. — 184 p. [in Russian]
4. Kopko V.M. Teplosnabzhenie [Heat supply] / V.M. Kopko. — Moscow: Infra-M, 2018. — 336 p. [in Russian]
5. Varfolomeev Yu.M. Otoplenie i teplovie seti [Heating and heating networks] / Yu.M. Varfolomeev, O.Ya. Kokorin. — Moscow: Infra-M, 2020. — 480 p. [in Russian]
6. Samarin O.D. Teplofizicheskie osnovy proektirovaniya sistem otopleniya i ventilyatsii [Thermophysical foundations of the design of heating and ventilation systems] / O.D. Samarin. — Moscow: MSSU, 2019. — 352 p. [in Russian]
7. Krasnov V.I. Remont i naladka sistem teplosnabzheniya [Repair and adjustment of heat supply systems] / V.I. Krasnov. — Moscow: Energiya, 2017. — 312 p. [in Russian]
8. Kremlevsky P.P. Raskhodomeri i schetchiki kolichestva veshchestv. Spravochnik [Flowmeters and counters of quantity of substances. Guide] / P.P. Kremlevsky. — St. Petersburg: Polytechnic, 2005. — 409 p. [in Russian]
9. Karelin V.Ya. Nasosi i nasosnie stantsii [Pumps and pumping stations] / V.Ya. Karelin, A.V. Minaev. — Moscow: Bastet, 2011. — 520 p. [in Russian]
10. Tolstykh A.V. Nasosi, ventilyatori i kompressori v sistemakh teplogazosnabzheniya i ventilyatsii [Pumps, fans and compressors in heat and gas supply and ventilation systems] / A.V. Tolstykh, Yu.N. Doroshenko, V.V. Penyavsky. — Moscow: Infra-Inzheneriya, 2022. — 176 p. [in Russian]
11. Teshebaev A. Sposobi teploperedachi i vidi teploobmennikh oborudovaniy [Methods of heat transfer and types of heat exchange equipment] / A. Teshebaev, Z.K. Chingizbek // ReFocus. — 2024. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-teploperedachi-i-vidy-teploobmennih-oborudovaniy> (data obrashcheniya: 16.03.2026). [in Russian]
12. Khrustalev B.M. Teplosnabzhenie i ventilyatsiya [Heat supply and ventilation] / B.M. Khrustalev, L.I. Kutsenko. — Moscow: ASV, 2012. — 416 p. [in Russian]
13. Lagutochkin A.A. Raschet pokazatelei energoeffektivnosti raboti oseвого nasosa dlya ustanovok zamknutogo vodospabzheniya [Calculation of energy efficiency indicators of an axial pump for closed-circuit water supply installations] / A.A. Lagutochkin // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii [Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia]. — 2022. — № 4. — P. 1–7. [in Russian]
14. Batukhtin S.G. Povishenie effektivnosti sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya za schet ispolzovaniya netraditsionnykh i vozobnovlyaemykh istochnikov energii: monografiya [Improving the efficiency of district heating systems through the use of unconventional and renewable energy sources: monograph] / S.G. Batukhtin, A.G. Batukhtin. — Chita: ZabGU, 2018. — 282 p. [in Russian]
15. Instruktsiya po montazhu i ekspluatatsii Wilo-CronoLine-IL, CronoTwin-DL, CronoBloc-BL [Installation and operating instructions Wilo-CronoLine-IL, CronoTwin-DL, CronoBloc-BL]. — Wilo SE, 2017. — 112 p. [in Russian]
16. Grundfos. Katalog nasosov dlya otopleniya i GVS [Grundfos. Catalog of pumps for heating and hot water]. — Grundfos Holding, 2020. — 350 p. [in Russian]
17. Zinger N.M. Gidravlicheskie i teplovie rezhimi teplofikatsionnykh sistem [Hydraulic and thermal modes of heating systems] / N.M. Zinger. — Moscow: Energiya, 1976. — 336 p. [in Russian]
18. Seredkin A.A. Problemi energoeffektivnosti teplosnabzheniya v Zabaikalskom krae: monografiya [Problems of energy efficiency of heat supply in the Trans-Baikal Territory: monograph] / A.A. Seredkin, S.G. Batukhtin, A.G. Batukhtin. — Chita: ZabSU, 2021. — 288 p. [in Russian]
19. Pirkov V.V. Sovremennye teplovie punkti. Avtomatika i regulirovanie [Modern heating points. Automation and regulation] / V.V. Pirkov. — Kyiv: Taki spravi, 2007. — 252 p. [in Russian]
20. Batuhin A.G. Optimization for the equipment in combined heating systems / A.G. Batuhin, M.S. Bass, S.G. Batuhin // Modern Applied Science. — 2015. — Vol. 9. — № 5. — P. 93–104.
21. Kitikov V.O. Metod gidravlicheskogo rascheta energoeffektivnykh sistem teplo- i kholodosnabzheniya zdaniy [Method of hydraulic calculation of energy-efficient heat and cold supply systems for buildings] / V.O. Kitikov, V.V. Pokotilov // Energoeffektivnost [Energy efficiency]. — 2019. — № 11. — P. 24–29. [in Russian]