МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
Наука и образование Центральной Азии: цифровая трансформация и устойчивое развитие
18 декабря 2026 г. · онлайн, Zoom · CASJ-2026
СЕКЦИЯ 7. МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ: СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ (БАКАЛАВРИАТ, МАГИСТРАТУРА)

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24464574

УДК 697.34:621.1

РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ НА РАСХОД ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УЧАСТКА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ АСТАНЫ

А.Б. Ербатыров
Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

Ербатыров Арлан Бахытжанович — студент 3 курса образовательной программы «Теплоэнергетика», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан.

© А.Б. Ербатыров, 2026

Аннотация: Рассмотрено влияние температуры обратной сетевой воды на расход теплоносителя и энергетические показатели участка тепловой сети Астаны. Информационной основой послужили опубликованные проектные сведения о реконструкции участка общей протяжённостью 1308,7 м с трубопроводами разных диаметров. Для сопоставления режимов выполнен расчёт по уравнению теплового баланса при условной постоянной тепловой нагрузке 10 МВт. Расчёт показывает, что увеличение температурного перепада с 20 до 40 °C приводит к двукратному снижению требуемого расхода воды. Насосная мощность оценена относительно базового режима с использованием упрощённой зависимости, учитывающей преимущественно квадратичный характер гидравлических потерь.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, Астана, обратная сетевая вода, температурный перепад, расход теплоносителя, тепловая сеть, сетевые насосы, гидравлические потери.

Введение

Эффективность централизованного теплоснабжения определяется совместной работой источника тепла, магистральных и распределительных трубопроводов, насосного оборудования и систем теплопотребления. Существенное значение имеет температурный перепад между подающей и обратной сетевой водой. Если передаваемая тепловая мощность остаётся постоянной, увеличение этого перепада позволяет уменьшить массовый расход теплоносителя. При прочих равных условиях это приводит к снижению скорости движения воды и гидравлических потерь.

Для Астаны вопрос повышения эффективности тепловых сетей актуален в связи с проводимой реконструкцией инфраструктуры. В открытых материалах АО «Институт КазНИПИЭнергопром» приведены сведения о рабочем проекте реконструкции участка от УТ-13 (ТМ-3) до ул. Московской, 31/1 и 27/1. Согласно описанию проекта, общая протяжённость сети составляет 1308,7 м; также указаны диаметры трубопроводов и длины отдельных участков [1]. Эти сведения позволяют рассмотреть конкретный объект городской системы теплоснабжения.

Вместе с тем карточка проекта не содержит эксплуатационных температурных графиков, фактических расходов воды, распределения потоков по отдельным ветвям и характеристик установленных насосов. Поэтому в работе проектные геометрические данные рассматриваются отдельно от параметров, принятых для расчётных сценариев. Цель исследования заключается в оценке изменения требуемого расхода теплоносителя при разных температурах обратной воды и в определении возможного направления изменения насосных затрат на основе упрощённой гидравлической модели.

Материалы и методы

Объектом исследования является участок тепловой сети Астаны, реконструкция которого описана в открытых материалах АО «Институт КазНИПИЭнергопром». В проекте указана суммарная протяжённость 1308,7 м. Диаметры трубопроводов находятся в диапазоне от 57 до 219 мм; отдельно приведены длины участков 2Ø219×6, 2Ø159×4,5, 2Ø133×4, 2Ø108×4, 2Ø89×4, 2Ø76×3 и 2Ø57×3 [1]. Основные геометрические сведения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Геометрические сведения опубликованного проекта реконструкции тепловой сети Астаны

Обозначение трубопровода	Протяжённость, м	Статус данных
2Ø219×6	156,4	проектные
2Ø159×4,5	152,4	проектные
2Ø133×4	72,1	проектные
2Ø108×4	79,5	проектные
2Ø89×4	116,1	проектные
Ответвления 2Ø108×4	256,0	проектные
Ответвления 2Ø89×4	73,2	проектные
Ответвления 2Ø76×3	390,5	проектные
Ответвления 2Ø57×3	12,5	проектные
Итого	**1308,7**	**опубликовано в проекте**

Примечание: обозначения диаметров и толщины стенок приведены в соответствии с опубликованной карточкой проекта. Таблица отражает геометрические характеристики проектируемого участка. Сведения о фактическом распределении расхода по трубопроводам в источнике отсутствуют.

Для сравнения температурных режимов принята постоянная тепловая нагрузка Q = 10 МВт и температура подающей воды t_1 = 95 °C. Эти значения заданы исключительно для расчёта и не являются паспортными или измеренными характеристиками рассматриваемого участка. Температура обратной воды принята равной 75, 70, 65, 60 и 55 °C. Удельная теплоёмкость воды составляет 4,18 кДж/(кг·К), плотность принята равной 970 кг/м³ как приближённое расчётное значение.

Массовый расход теплоносителя определялся по уравнению теплового баланса:

$$G = Q / [c_p \cdot (t_1 - t_2)] \quad (1)$$

где G - массовый расход, кг/с; Q - тепловая мощность, Вт; c_p - удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·К); t_1 и t_2 - температуры подающей и обратной воды, °C. Объёмный расход определялся с учётом плотности воды:

$$V = G / \rho \quad (2)$$

где V - объёмный расход, м³/с; ρ - плотность воды, кг/м³. Для сравнительной оценки насосных затрат использована приближённая зависимость $N \sim V^3$. Она позволяет оценить тенденцию изменения мощности при преобладании квадратичной составляющей гидравлического сопротивления и условно постоянном КПД насоса. Относительная мощность рассчитывалась по следующему выражению:

$$N_i / N_0 = (V_i / V_0)^3 \quad (3)$$

За базовый принят режим с температурным перепадом 20 °C. В опубликованной карточке проекта отсутствуют гидравлическая схема с распределением расходов, сведения о шероховатости труб и местных сопротивлениях, а также характеристики насосов и значения

их КПД. По этой причине абсолютная мощность в киловаттах и годовое потребление электроэнергии не определялись. Кубическая зависимость применялась только для сопоставления расчётных сценариев.

Результаты и обсуждение

Результаты расчёта представлены в таблице 2. При постоянной тепловой нагрузке 10 МВт увеличение температурного перепада сопровождается пропорциональным уменьшением массового расхода. Так, при изменении перепада от 20 до 40 °C расчётный расход снижается с 119,6 до 59,8 кг/с, то есть на 50 %. Аналогичное изменение наблюдается и для объёмного расхода.

Таблица 2 - Результаты сценарного расчёта расхода теплоносителя

t_2, °C	Δt, °C	G, кг/с	V, м³/ч	V/V_0, %	N/N_0, %
75	20	119.6	443.9	100.0	100.0
70	25	95.7	355.2	80.0	51.2
65	30	79.7	296.0	66.7	29.6
60	35	68.4	253.7	57.1	18.7
55	40	59.8	222.0	50.0	12.5

Согласно данным таблицы 2, снижение температуры обратной воды с 75 до 55 °C при неизменной температуре подачи увеличивает температурный перепад с 20 до 40 °C. В результате расчётный объёмный расход уменьшается с 443,9 до 222,0 м³/ч. Эта зависимость непосредственно следует из уравнения теплового баланса и не определяется геометрией трубопроводов.

Рисунок 1 - Изменение относительного расхода и условной относительной мощности насоса

Расчёт по кубической зависимости даёт относительную мощность перекачки, равную 12,5 % от базового значения при увеличении температурного перепада в два раза. Полученная величина характеризует теоретическую тенденцию и не является оценкой фактической экономии электроэнергии на рассматриваемом участке. Реальные показатели насосной установки зависят также от статического напора, местных сопротивлений, регулирующей арматуры, частотного управления и изменения КПД.

Проектные сведения показывают, что рассматриваемый участок включает ответвления и трубопроводы нескольких диаметров [1]. Для выполнения полного гидравлического расчёта дополнительно потребуются расходы по отдельным ветвям, длины участков прямого и обратного трубопроводов, данные о материале и состоянии труб, местные сопротивления и характеристики сетевых насосов. В исследовании Р. А. Мусабекова и соавторов рассмотрены особенности традиционных систем теплоснабжения Казахстана и возможности повышения их эффективности с применением тепловых насосов [2]. Эта работа отражает общие направления развития теплоснабжения, но не содержит эксплуатационных измерений для рассматриваемого участка Астаны.

Практическое применение полученных результатов связано с необходимостью сопоставлять фактические температуры подачи и обратной воды с расходом теплоносителя и режимом работы насосов. Снижение температуры обратной воды следует обеспечивать за счёт повышения эффективности теплоотдачи у потребителей, настройки регулирующей арматуры и гидравлической балансировки систем, а не произвольного изменения режима источника теплоты. Подходы к снижению температуры возвратной воды также рассматриваются в профильных исследованиях [3].

Заключение

На основании опубликованных проектных сведений о реконструкции участка тепловой сети Астаны сформирована расчётно-аналитическая модель для сравнения температурных режимов. В качестве исходной документальной информации использованы общая протяжённость участка 1308,7 м и указанные в проекте диаметры трубопроводов. Эти данные связывают расчёт с конкретным объектом городской инфраструктуры, однако не заменяют результаты эксплуатационных измерений.

Расчёт при условной тепловой нагрузке 10 МВт показал, что увеличение температурного перепада с 20 до 40 °C приводит к снижению массового и объёмного расходов теплоносителя примерно в два раза. Упрощённая модель также указывает на возможность уменьшения относительной мощности насосной перекачки. Для определения фактического эффекта необходима проверка по гидравлическим характеристикам сети и насосного оборудования.

Снижение температуры обратной сетевой воды может быть одним из направлений повышения энергетической эффективности системы теплоснабжения. Для уточнения полученных оценок требуется дополнить расчёт фактическими температурными графиками, расходами по отдельным ветвям, данными о перепадах давления и характеристиками насосов. Предложенный подход может использоваться как основа для дальнейшего инженерного обследования рассматриваемого участка.

Список литературы:

1. Институт «КазНИПИЭнергопром» АО. Реконструкция теплотрассы от УТ-13 (ТМ-3) до ул. Московской, 31/1, 27/1: рабочий проект [Электронный ресурс]. - 2023. - URL: https://www.knep.kz/En/Projects/ (дата обращения: 23.11.2026).

2. Мусабеков Р. А., Абильдинова С. К., Расмухамедова А. С., Онгар Б., Есенғабылов І. Ж., Алдабергенова А. О., Исаева Г. Б. Эффективность районных отопительных систем в условиях совместного использования тепловых насосов // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. - 2018. - № 4 (430). - С. 201-207. - URL: https://www.geolog-technical.kz/images/pdf/g20184/201-207.pdf.

3. Tol H. İ., Madessa H. B. Return-Temperature Reduction at District Heating Systems: Focus on End-User Sites // Energies. - 2024. - Vol. 17, No. 19. - Art. 4901. - DOI: 10.3390/en17194901.