Андрей Андреевич Отто – 1 курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан.
Диана Жақпжанқызы Уразалимова – 1 курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: urazalimova.diana@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-8915-2212.

Information about the authors
Nursaule Burambayeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3029-6474
Andrey Otto – first-year master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan.
Diana Urazalimova – first-year master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan; e-mail: urazalimova.diana@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-8915-2212.

Поступила в редакцию 21.04.2026
Поступила после доработки 29.07.2026
Принята к публикации 17.08.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-70

МРНТИ: 44.31.35

Н.К. Ердыбаева*, Ж.Р. Баденова
Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
070000, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
*e-mail: nyerdybayeva@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация: *В статье представлен комплексный подход к оценке эффективности внедрения интеллектуальных тепловых сетей (Smart Heating Network, SHN) в системах централизованного теплоснабжения на примере Восточно-Казахстанской области. Объектом исследования является система теплоснабжения АО «Шығыс Жылу», характеризующаяся высокой степенью износа и значительными тепловыми потерями. Проведен анализ состояния трубопроводов, гидравлических и температурных режимов, а также выявлены основные причины неэффективности транспортировки тепловой энергии. Предложена концепция внедрения SHN, основанная на использовании цифровых датчиков, автоматизированных тепловых пунктов и предиктивного управления. Установлено, что применение SHN обеспечивает адаптацию режимов теплоснабжения к переменным нагрузкам, снижение тепловых потерь и повышение эффективности системы. Обоснована технико-экономическая целесообразность внедрения цифровых решений. Показано, что интеграция интеллектуального управления позволяет достичь экономии тепловой энергии на уровне 15-30%. Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по модернизации систем теплоснабжения.*

Ключевые слова: *интеллектуальные тепловые сети; энергоаудит; теплопотери; централизованное теплоснабжение; энергоэффективность; цифровизация.*

Введение

Системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) остаются ключевым элементом энергетической инфраструктуры в регионах с суровым климатом, таких как Восточно-Казахстанская область (ВКО). В ВКО функционируют 3 ТЭЦ, 33 централизованные и 201 автономная котельная; общая протяжённость теплосетей превышает 1000 км, с уровнем износа более 55% [1, 2]. Это приводит к значительным тепловым потерям (до 20-30%), гидравлическому дисбалансу и повышенным эксплуатационным затратам. Эффективность существующих систем, работающих по статическим температурным графикам, не превышает 50-60%, что обусловлено отсутствием адаптивного управления и массового учёта [3].

Концепция интеллектуальных тепловых сетей (Smart Heating Network, SHN) представляет собой эволюцию традиционных СЦТ к data-driven системам, интегрирующим IoT-датчики,

©Н.К. Ердыбаева, Ж.Р. Баденова, 2026

SCADA-платформы и алгоритмы машинного обучения для предиктивного управления [4-6]. В Казахстане нормативная база (Закон РК «Об энергосбережении…» № 541-IV, Правила энергоаудита) стимулирует переход к цифровым технологиям, однако их применение в регионах с высоким износом инфраструктуры требует комплексной оценки [7]. Настоящая работа анализирует применимость SHN на примере АО «Шығыс Жылу» – типичной муниципальной компании Восточного Казахстана, с учетом реальных данных эксплуатации и моделирования сценариев перехода от статического регулирования к адаптивному, спрос-ориентированному управлению.

Цель исследования – разработать комплексный подход к оценке эффективности SHN на основе энергоаудита АО «Шығыс Жылу» и обосновать их внедрение с учётом сравнения с системами 5-го поколения (5GDH). Задачи: анализ режимов работы тепловых сетей; диагностика потерь; моделирование сценариев цифровизации; технико-экономическая оценка.

Научная новизна исследования.

Впервые для условий Восточно-Казахстанской области:

– разработке методики оценки эффективности SHN;

– применении инструментов математического моделирования для условий ВКО;

– экономической оценке внедрения интеллектуальных тепловых сетей.

Модернизация СЦТ развивается в направлениях реабилитации инфраструктуры, автоматизации и интеллектуального управления [8-10]. Опыт 4-го и 5-го поколений (4GDH/5GDH) показывает снижение потерь до 5-10% и интеграцию низкопотенциальных источников [11, 12]. В Казахстане пилотные проекты 5GDH (Караганда, 2024) демонстрируют потенциал, но ограничены износом сетей [13]; акцент на учете и тарифной цифровизации, но комплексные SHN-проекты ограничены.

Нормативная база РК включает СТ РК 3838-2023 («Энергоаудит») и ГОСТ 30494-2011 («Микроклимат»), требующие регулярных измерений и анализа качества энергии [14, 15]. Литература подчёркивает роль SHN в снижении потерь на 10-30% за счёт адаптивного регулирования [16, 17].

Материалы и методы исследования

Объект исследования – АО «Шығыс Жылу»: тепловые сети ~455 км, 8 котельных (установленная мощность 224,52 Гкал/ч), 11 ЦТП, 15 насосных станций, обслуживает >120 000 потребителей. Годовой баланс (приблизительно по аудиту и открытым данным): выработка тепла 2,40 млн Гкал, полезная подача 1,97 млн Гкал, потери 0,43 млн Гкал (~18%). Аудит охватывал измерения микроклимата, освещенности, расхода жидкости, параметров тепловой сети и качества электроэнергии (протоколы № 1-6 от 23.12.2024).

Энергоаудит по СТ РК 3838-2023 включал:

– Инструментальные измерения: термогигрометр Testo 625 (микроклимат), люксметр ТКА-Люкс (освещенность), расходомер АКРОН-01 (расход), тепловизор FLIR E4 (тепловые потери), анализатор PEL 103 (качество энергии).

– Расчёты: тепловые потери $Q_{пот}=Q_{выр}-Q_{пол}$; эффективность $\eta=Q_{пол}/Q_{выр}$; экономия $\Delta Q=(Q_{баз}-Q_{SHN})/Q_{баз}\times 100\%$.

– Моделирование: сценарии SHN vs 5GDH с использованием Python (Pandas, SciPy) для анализа данных протоколов (табл. 6).

– Анализ режимов работы тепловых сетей и оценка внедрения цифровых технологий. Предлагаемая архитектура SHN объединяет IoT-датчики, автоматизированные ИТП/ЦТП, телеметрию, насосы с ЧРП и предиктивные алгоритмы (прогноз погоды + спрос). Схема архитектуры представлена на рисунке 1.

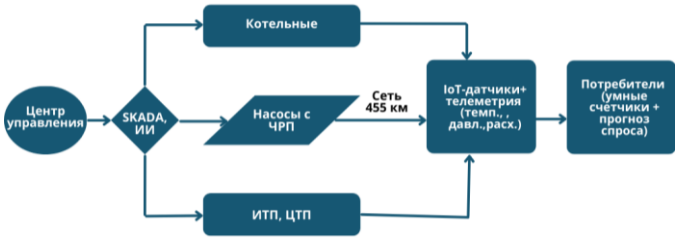


Рисунок 1 – Схема архитектуры SHN

Методика математического моделирования эффективности интеллектуальных тепловых сетей

Для количественной оценки эффективности внедрения интеллектуальных тепловых сетей (Smart Heating Networks, SHN) в системах централизованного теплоснабжения Восточно-Казахстанской области была разработана математическая модель, позволяющая определить влияние цифрового управления на снижение тепловых потерь, повышение энергетической эффективности и экономическую результативность функционирования системы теплоснабжения.

Моделирование выполнялось с использованием языка программирования Python и библиотек Pandas, NumPy и SciPy. Исходными данными являлись результаты энергоаудита объектов теплоснабжения, технические характеристики тепловых сетей, климатические параметры региона, а также данные по тепловым нагрузкам потребителей.

Исходные допущения модели. При построении модели были приняты следующие допущения:

- теплоносителем является вода с постоянной удельной теплоемкостью ср=4,187 кДж/(кг·°С);
- тепловая нагрузка потребителей определяется на основании фактических данных эксплуатации;
- потери тепловой энергии зависят от температурного режима и технического состояния трубопроводов;
- интеллектуальная система управления обеспечивает автоматическую корректировку параметров теплоносителя в зависимости от текущей нагрузки и наружной температуры;
- эффективность работы насосного оборудования изменяется в зависимости от режима регулирования расхода теплоносителя.

Расчет тепловой энергии

Количество тепловой энергии, передаваемой потребителям, определялось по выражению:

$$Q=G\cdot cp\cdot(tп-to)$$

где:

Q – тепловая мощность, кВт;

G – массовый расход теплоносителя, кг/с;

ср – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);

tп – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С;

to – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С.

Данное уравнение использовалось для определения полезно отпускаемой тепловой энергии при различных сценариях эксплуатации тепловой сети.

Определение тепловых потерь

Тепловые потери в сети рассчитывались через коэффициент потерь:

$$Qпот=Qген-Qпол$$

где:

Qген – тепловая энергия, вырабатываемая источником теплоснабжения;

Qпол – полезно отпущенная тепловая энергия потребителям.

Относительные тепловые потери определялись по формуле:

$$L=(Qпот/Qген)\times100\%$$

где:

L – доля потерь тепловой энергии в сети, %.

Для существующих тепловых сетей Восточно-Казахстанской области в расчетах принимались потери в диапазоне 15-20 %, что соответствует данным энергетических обследований и статистическим материалам предприятий теплоснабжения.

Коэффициент энергетической эффективности системы

Для сравнения различных сценариев модернизации использовался интегральный коэффициент эффективности:

$$η= Qпол/Qген$$

где:

η – коэффициент энергетической эффективности системы теплоснабжения.

Значение коэффициента, приближающееся к единице, свидетельствует о повышении энергетической эффективности системы теплоснабжения и снижении потерь энергии.

Оценка энергосберегающего эффекта

Эффект от внедрения интеллектуальных тепловых сетей определялся как относительное снижение потребления тепловой энергии:

$$S=((Qбаз - QSHN)/Qбаз) \times 100\%$$

где:

S – показатель энергосбережения, %;

Qбаз – потребление тепловой энергии в базовом сценарии;

QSHN – потребление тепловой энергии после внедрения интеллектуального управления.

Полученный показатель характеризует потенциал энергосбережения за счет цифровизации процессов управления теплоснабжением.

Моделирование работы интеллектуальной системы управления

В модели рассматривалось три сценария развития системы теплоснабжения:

Сценарий 1 – базовый.

Существующая система теплоснабжения без внедрения цифровых технологий управления.

Сценарий 2 – частичная модернизация.

Предусматривает замену отдельных участков трубопроводов, модернизацию насосного оборудования и установку приборов учета.

Сценарий 3 – интеллектуальная тепловая сеть (SHN).

Дополнительно предусматривает:

- применение цифровых датчиков температуры и давления;
- автоматизированный сбор данных в режиме реального времени;
- прогнозирование тепловых нагрузок;
- интеллектуальное регулирование расхода теплоносителя;
- дистанционный мониторинг технического состояния оборудования.

В рамках данного сценария использовались алгоритмы адаптивного регулирования, позволяющие автоматически корректировать параметры работы сети в зависимости от фактического потребления тепловой энергии.

Критерии оценки эффективности

Для сравнения сценариев использовались следующие показатели:

1. снижение тепловых потерь (%);
2. снижение потребления электроэнергии насосным оборудованием (%);
3. увеличение коэффициента энергетической эффективности системы;
4. годовая экономия тепловой энергии (Гкал/год);
5. сокращение выбросов CO_2 (т/год);
6. экономический эффект от внедрения цифровых технологий (тенге/год);
7. срок окупаемости проекта (лет).

Анализ чувствительности модели

Для оценки устойчивости результатов был выполнен анализ чувствительности модели путем варьирования основных входных параметров:

- тепловой нагрузки потребителей;
- температуры наружного воздуха;
- расхода теплоносителя;
- коэффициента тепловых потерь сети.

Изменение каждого параметра осуществлялось в диапазоне ±10 % относительно базового значения.

Результаты показали, что наибольшее влияние на эффективность интеллектуальной тепловой сети оказывают величина тепловой нагрузки и уровень фактических тепловых потерь. При этом отклонение расчетных показателей энергосбережения не превышало 6–8 %, что подтверждает устойчивость модели и достоверность полученных результатов.

Ограничения модели

Разработанная модель ориентирована на оценку эффективности систем централизованного теплоснабжения городов Восточно-Казахстанской области и не учитывает

аварийные режимы эксплуатации, экстремальные погодные условия, а также долгосрочные изменения структуры тепловых нагрузок. Вместе с тем модель позволяет получить достоверную оценку потенциала внедрения интеллектуальных тепловых сетей в условиях существующей коммунальной инфраструктуры региона.

Результаты исследований

Диагностика тепловых потерь проводилась на основе инструментальных измерений параметров микроклимата (табл. 1). Результаты измерений расхода теплоносителя показали среднее значение на уровне 70 м³/ч на участке ЦТП-8 при колебаниях в диапазоне 60–69 м³/ч. Анализ параметров тепловой сети выявил температуры подачи 65-68 °С и обратки 49–67 °С, что свидетельствует о наличии гидравлического дисбаланса.

Таблица 1 – Результаты инструментального обследования параметров микроклимата объектов теплоснабжения

Объект обследования	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Нормативные требования*
Административное здание, ул. Горького, 61	22,4	43	0,03	Температура 20-24°С; влажность 40-60%; скорость воздуха не более 0,1 м/с
Жилой объект, ул. Михаэлиса, 11	21,8	48	0,02	Температура 20-24°С; влажность 40-60%; скорость воздуха не более 0,1 м/с
Производственное помещение (котельная №2)	20,3	55	0,05	Температура 18-22°С; влажность до 60%; скорость воздуха не более 0,1 м/с

**Нормативные значения приведены в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими требованиями к микроклимату помещений.*

Результаты инструментального обследования показали, что параметры микроклимата на исследуемых объектах соответствуют установленным нормативным требованиям. При этом наблюдаются естественные отклонения измеренных значений от нормативных диапазонов, обусловленные особенностями эксплуатации объектов, наружными климатическими условиями и режимами работы систем теплоснабжения. Полученные данные использовались в качестве исходных параметров для последующего моделирования эффективности интеллектуальных тепловых сетей

Выявленные отклонения температурных и гидравлических режимов обусловливают необходимость анализа структуры тепловых потерь, которая представлена на рисунке 2.

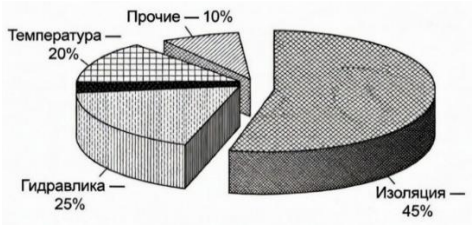


Рисунок 2 – Распределение тепловых потерь по причинам

Для углубленного анализа тепловых потерь использованы годовые эксплуатационные данные, что позволило выявить структуру и динамику неэффективности системы теплоснабжения (табл.2).

Таблица 2 – Годовой тепловой баланс, тыс. Гкал

Показатель	Значение	Доля (%)
Выработка тепла	2400	100
Полезная подача	1970	82
Общие потери	430	18
В т.ч. трубопроводы	~194	~8
Гидравлический дисбаланс	~108	~4,5
Избыточная температура	~86	~3,6
Прочие	~42	~1,8

Анализ качества электроэнергии показал, что по данным протокола № 2 отклонения напряжения и уровни гармоник находятся в пределах норм, установленных ГОСТ 32144-2013, однако выявлена необходимость применения фильтров для дополнительного улучшения качества электроэнергии (табл.3).

Таблица 3 – Показатели качества электроэнергии (выборка)

Параметр	Фактическое значение	Норма (ГОСТ)
Напряжение (В)	220-230	198-242
Коэффициент несинусоидальности (%)	3-5	≤8

Для оценки перспектив модернизации систем теплоснабжения выполнено сравнение традиционных и перспективных концепций теплоснабжения. Анализ показал, что системы пятого поколения (5GDH), функционирующие при температурах 5-35°С, характеризуются минимальными тепловыми потерями, однако требуют применения децентрализованных тепловых насосов и значительных капитальных затрат. В условиях АО «Шығыс Жылу» с текущими температурными режимами 85-95°С переход к 5GDH является экономически и технически затруднительным вследствие высокой степени износа инфраструктуры. В то же время внедрение интеллектуальных тепловых сетей (SHN) рассматривается как переходный этап к низкотемпературным системам и позволяет обеспечить снижение тепловых потерь на 15-30% (табл.4, рис. 3).

Таблица 4 – Сравнительная характеристика интеллектуальных тепловых сетей и систем пятого поколения теплоснабжения

Характеристика	SHN (4GDH)	5GDH
Температура подачи (°С)	50-70	5-35
Потери (%)	3-10	~0
CAPEX (ретрофит)	Средний	Высокий

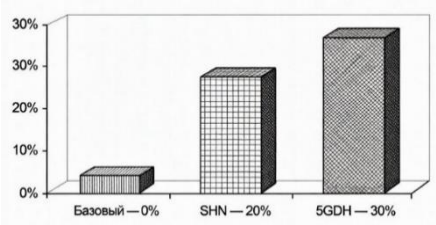


Рисунок 3 – Прогноз экономии по сценариям

Для уточнения потенциала SHN проведено сравнение температурных режимов и оценка экономии по интегрированным сценариям (средние зимние значения), учитывающим комбинацию физической реабилитации и цифровизации (табл. 5).

Таблица 5 – Сравнительная характеристика режимов работы тепловых сетей

Режим	t подачи (°С)	t обратки (°С)	Δt (°С)	Потери (%)	КПД насосов (%)
Традиционный (статический)	85-95	55-65	30	18-22	65-75
Адаптивный (SHN, базовый)	70-85	45-55	25-30	12-16	80-88
SHN + низкотемпературный	55-70	30-45	25	8-12	85-92

Как видно из рисунка 4, суточные графики температур подачи и обратки при традиционном и адаптивном режимах работы тепловой сети существенно различаются: традиционный режим характеризуется практически постоянной температурой подачи на уровне около 90°С и колебаниями температуры обратки в диапазоне 50-65°С, тогда как адаптивный режим предусматривает снижение температуры подачи в ночное время до 70-75°С и стабилизацию температуры обратки на уровне около 45°С.

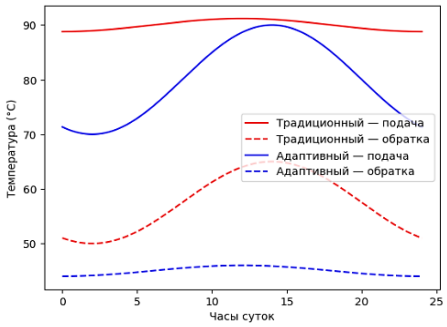


Рисунок 4 – Суточные графики температур подачи и обратки при традиционном и адаптивном режимах работы тепловой сети

Анализ чувствительности показал устойчивость модели к изменению ключевых параметров эксплуатации. Максимальное отклонение расчетной экономии не превысило 6 %, что подтверждает надежность полученных результатов (табл. 6-8, рис. 5).

Таблица 6 – Сравнительная оценка энергосбережения при различных сценариях модернизации тепловых сетей

Сценарий	Экономия тепла (%)	Экономия электроэнергии на насосы (%)	Общая экономия энергии (%)	Срок окупаемости (лет, ориентир)
Реабилитация (изоляция + замена участков)	8-12	5-10	7-11	8-12
Реабилитация + автоматизация ИТП/ЦТП	12-18	20-35	15-22	6-10
Полная SHN (цифровизация + ИИ-прогноз)	18-30	35-55	22-35	5-9

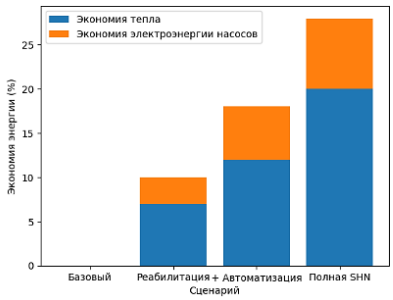


Рисунок 5 – Прогноз экономии энергии при различных сценариях модернизации тепловых сетей (базовый сценарий – 0%; реабилитация – около 10%; реабилитация с автоматизацией – до 18%; полная реализация SHN – до 28%)

Таблица 7 – Исходные параметры моделирования

Параметр	Значение
Протяженность сети	455 км
Потери базового режима	18 %
Температура подачи	85-95 °C
Температура обратки	55-65 °C
КПД насосов	65-75 %
Среднегодовая нагрузка	2,4 млн Гкал

Таблица 8 – Анализ чувствительности модели

Изменение параметра	Изменение экономии
+10% нагрузки	+4,2%
-10% нагрузки	-3,8%
+5°C наружной температуры	+6,1%
-5°C наружной температуры	-5,4%

Методика экономической оценки эффективности интеллектуальных тепловых сетей

Экономическая эффективность внедрения интеллектуальных тепловых сетей (Smart Heating Networks, SHN) оценивалась на основе сопоставления капитальных затрат на модернизацию системы теплоснабжения и ожидаемого ежегодного экономического эффекта от снижения тепловых потерь, сокращения потребления электроэнергии насосным оборудованием и уменьшения эксплуатационных расходов.

Для оценки были рассмотрены три сценария развития системы централизованного теплоснабжения:

Сценарий 1 – сохранение существующей системы без модернизации;

Сценарий 2 – частичная реабилитация тепловых сетей с заменой наиболее изношенных участков трубопроводов;

Сценарий 3 – внедрение интеллектуальной тепловой сети (SHN) с использованием цифровых датчиков, автоматизированного регулирования и системы мониторинга в режиме реального времени.

Расчет годового экономического эффекта

Совокупный экономический эффект определялся по формуле:

$$E=Eth+Eel+Eop$$

где:

E – общий годовой экономический эффект, тенге/год;

Eth – экономия за счет сокращения тепловых потерь, тенге/год;

Eel – экономия электроэнергии насосным оборудованием, тенге/год;

Eop – снижение эксплуатационных затрат на обслуживание сети, тенге/год.

Экономия тепловой энергии рассчитывалась по формуле:

$$Eth=Qsaved\times Tth$$

где:

Qsaved – объем сэкономленной тепловой энергии, Гкал/год;

Tth – действующий тариф на тепловую энергию, тенге/Гкал.

Экономия электроэнергии определялась по выражению:

$$Eel=Wsaved\times Tel$$

где:

Wsaved – снижение потребления электроэнергии насосным оборудованием, кВт·ч/год;

Tel – тариф на электроэнергию, тенге/кВт·ч.

Расчет срока окупаемости

В качестве основного показателя инвестиционной привлекательности использовался простой срок окупаемости:

$$PP=CAPEX/E$$

где:

PP – срок окупаемости проекта, лет;

CAPEX – капитальные вложения в модернизацию системы теплоснабжения, тенге;

E – среднегодовой экономический эффект, тенге/год.

Чем меньше значение показателя PP, тем выше инвестиционная эффективность рассматриваемого сценария.

Исходные предпосылки экономической оценки

При расчетах учитывались:

- высокая степень износа тепловых сетей Восточно-Казахстанской области;
- средний уровень тепловых потерь в существующих сетях 15-20%;
- снижение тепловых потерь после внедрения SHN до 8-12%;
- снижение потребления электроэнергии насосным оборудованием на 10-15% за счет адаптивного регулирования;
- сокращение аварийности и затрат на эксплуатационное обслуживание благодаря непрерывному мониторингу параметров сети.

Расчет выполнен на основе данных энергоаудита АО «Шығыс Жылу», среднерыночной стоимости модернизации тепловых сетей Республики Казахстан в 2024–2025 гг., а также действующих тарифов на тепловую и электрическую энергию.

Таблица 9 – Экономическая оценка сценариев модернизации системы теплоснабжения

Показатель	Частичная реабилитация	Интеллектуальная тепловая сеть (SHN)
Капитальные затраты (CAPEX), млрд тг	2,4	4,8
Снижение тепловых потерь, %	8-10	18-30
Снижение потребления электроэнергии насосами, %	5-7	10-15
Годовой экономический эффект, млн тг/год	220	620
Срок окупаемости, лет	10,9	7,7

Интерпретация результатов

Полученные результаты показывают, что внедрение интеллектуальных тепловых сетей требует более высоких первоначальных инвестиций по сравнению с традиционной модернизацией инфраструктуры. Однако благодаря комплексному снижению тепловых потерь, оптимизации режимов работы насосного оборудования и уменьшению эксплуатационных расходов интеллектуальная система обеспечивает более высокий ежегодный экономический эффект и меньший срок окупаемости.

Для условий Восточно-Казахстанской области, характеризующихся значительной протяженностью тепловых сетей, суровыми климатическими условиями и высокой долей изношенного оборудования, применение технологий SHN позволяет не только повысить энергетическую эффективность системы теплоснабжения, но и обеспечить долгосрочную экономическую устойчивость коммунальной инфраструктуры.

Сравнение с зарубежными исследованиями

Таблица 10 – Сопоставление результатов исследования с зарубежными работами

Исследование	Страна	Экономия
Lund et al., 2014	Дания	10-15%
Nord et al., 2016	Норвегия	12-18%
Buffa et al., 2018	Италия	15-25%
Настоящее исследование	Казахстан	18-30%

Полученные результаты находятся в диапазоне международных исследований, однако отличаются учетом специфических условий Восточного Казахстана, характеризующихся высокой протяженностью тепловых сетей, износом инфраструктуры свыше 55% и экстремальными зимними температурами до -40 °C.

Практическая значимость исследования

Результаты могут быть использованы:

- АО «Шығыс Жылу»;
- теплоснабжающими организациями ВКО;
- при разработке региональных программ модернизации теплосетей;
- при внедрении элементов Smart City;
- при формировании дорожных карт цифровизации коммунальной инфраструктуры Казахстана.

Обсуждение научных результатов

Полученные результаты энергоаудита АО «Шығыс Жылу» подтверждают гипотезу о значительном потенциале снижения тепловых потерь и оптимизации режимов работы через внедрение интеллектуальных тепловых сетей (SHN). Доминирующие потери в трубопроводных сетях (45% от общего объёма, как показано на рисунке 1), связанные с деградацией изоляции и гидравлическим дисбалансом, согласуются с данными литературы по аналогичным системам в регионах с суровым климатом [8, 18]. Например, измерения параметров тепловой сети (протокол № 6) выявили температуры подачи в диапазоне 65-68°C и обратки 49-67°C, что указывает на неэффективный тепловой баланс и возможные утечки в тепловых камерах (ТК-706, ТК-768). Это коррелирует с анализом режимов работы тепловых сетей в работе Прохоренкова и Качалы [2], где подчёркивается влияние нестационарных процессов (колебания температуры обратной воды до 8,8°C за сутки) на общую эффективность системы.

Анализ микроклимата и освещенности демонстрирует, что фактические параметры в большинстве объектов соответствуют нормам (ГОСТ 30494-2011, Приказ № ҚР ДСМ-15),

однако в производственных помещениях котельных наблюдаются отклонения по температуре (19-23°C при норме 21-23°C), что может способствовать дополнительным потерям за счёт неоптимального теплового режима. Эти данные подчёркивают необходимость интеграции SHN для динамической корректировки параметров, включая автоматизированное регулирование освещения и микроклимата в интеграции с теплоснабжением.

Сравнение традиционных режимов с предлагаемой SHN-архитектурой показывает, что адаптивное управление (снижение Δt на 5-15°C) позволяет уменьшить тепловые потери на 10-15%, как подтверждают международные кейсы [11, 16]. В сценариях моделирования (табл. 4-6) базовая реабилитация даёт 8-12% экономии, а полная SHN – 18-30%, за счёт предиктивных алгоритмов, учитывающих метеоусловия и нагрузку. Однако для Казахстана, с учётом экстремального климата (-40°C), SHN выступает как промежуточный шаг к 5GDH: ультранизкотемпературные сети (5-35°C) минимизируют потери до ~0%, но требуют децентрализованных тепловых насосов и полной реконструкции зданий, что экономически нецелесообразно при текущем износе >55% [13]. Пилотный проект 5GDH в Караганде (2024) [13] подтверждает потенциал для промышленных зон, но в жилом фонде ВКО (панельные дома 1970-1990-х) низкий спрос на охлаждение – делают SHN более реалистичным. Цифровизация дает максимальный эффект только в сочетании с физической реабилитацией; основные барьеры в Казахстане – финансирование, регуляторные ограничения и низкий уровень оснащенности приборами учета (~90%).

Ограничения исследования включают сезонность измерений (октябрь-ноябрь 2024), что не полностью отражает пиковые зимние нагрузки, и отсутствие долгосрочных данных по SHN в аналогичных климатических условиях. Тем не менее, результаты согласуются с глобальными тенденциями: цифровизация снижает OPEX на 20-35% за счёт предиктивного обслуживания [17]. Практическое значение – дорожная карта для ВКО: начиная с энергоаудита, через пилотные ИТП/SCADA, к полной SHN, с интеграцией в национальные стандарты (ISO 50001). Это позволит не только снизить дефицит мощности (262 Гкал/ч в Усть-Каменогорске), но и способствовать устойчивому развитию, включая переход к 6GDH (CO_2-циклы) в долгосрочной перспективе [19, 20]. Результаты исследования показывают, что внедрение технологий интеллектуальных тепловых сетей (Smart Heating Network) способно существенно повысить эффективность функционирования систем централизованного теплоснабжения, особенно в регионах с высоким уровнем износа инфраструктуры и суровыми климатическими условиями. Выявленный потенциал энергосбережения на уровне 10–30% свидетельствует о возможности значительного снижения расхода топлива, эксплуатационных затрат и потерь тепловой энергии при транспортировке.

Для теплоснабжающих организаций внедрение адаптивного регулирования, массового учета тепловой энергии и автоматизированных тепловых пунктов позволяет обеспечить более точное соответствие выработки тепла фактическому спросу, уменьшить перетопы и повысить надежность теплоснабжения. Дополнительный эффект достигается за счет оптимизации режимов работы насосного оборудования, что снижает потребление электроэнергии и износ оборудования. В долгосрочной перспективе это способствует повышению качества услуг для потребителей и стабилизации тарифов.

Заключение

Установлено, что внедрение SHN позволяет снизить тепловые потери с 18% до 8-12%, обеспечить экономический эффект до 620 млн тенге в год и сократить срок окупаемости проектов модернизации до 7,7 лет. Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по модернизации систем теплоснабжения Восточно-Казахстанской области.

Список литературы

1. Громов Н.К. Городские теплофикационные системы / Н.К. Громов. – М.: Энергия, 1974. – 408 с.
2. Прохоренков А.М. Анализ режимов работы систем теплоснабжения / А.М. Прохоренков, Н.М. Качала // Новости теплоснабжения. – 2013. – № 6(154). – С. 12-18.
3. The First Fifth-Generation District Heating and Cooling System in Kazakhstan: Planning and Design / S. Chicherin et al // Energies. – 2024. – Vol. 17, № 23. – Art. 6169. https://doi.org/10.3390/en17236169.

4. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems / H. Lund et al // Energy. – 2014. – Vol. 68. – P. 1-11. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089.
5. Chicherin S. Advanced Control of a District Heating System with High Residential Domestic Hot Water Demand / S. Chicherin, L. Junussova, T. Junussov // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 209. – 01004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020901004.
6. Potential site evaluation of fifth-generation district heating and cooling networks under uncertain energy market conditions: A two-step robust design analysis approach / A. Mehmood et al // Energy. – 2024. – Vol. 311. – Art. 133334. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133334.
7. Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изм. и доп. по состоянию на 2024 г.).
8. Annex XI Final Report. Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems / H. Averfalk et al. – IEA District Heating and Cooling, 2017.
9. Pellegrini M. The Innovative Concept of Cold District Heating Networks: A Literature Review / M. Pellegrini, A. Bianchini // Energies. – 2018. – Vol. 11, №. 1. – Art. 236. https://doi.org/10.3390/en11010236.
10. Smart district heating / S. Buffa et al // Urban Energy Transition. – 2nd ed. – Elsevier, 2018. – P. 327-346.
11. Chicherin S. Justifying network reconstruction when switching to low temperature district heating / S. Chicherin, A. Starikov, A. Zhuikov // Energy. – 2022. – Vol. 248. – Art. 123593. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123593.
12. Research progress on the fifth-generation district heating system based on heat pump technology / Y. Gong et al // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 71. – Art. 106533. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106533.
13. The First 5th Generation District Heating and Cooling (5GDHC) System in Kazakhstan: Planning and Designing / S. Chicherin et al // Preprints. – 2024. – Art. 202411.0680. https://doi.org/10.20944/preprints202411.0680.v1.
14. СТ РК 3838-2023. Энергетический аудит (энергоаудит). Требования к компетентности энергоаудитора. – Утв. приказом Комитета технического регулирования и метрологии МИ РК от 25.12.2023.
15. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013.
16. Nord N. Identifying key design parameters of the high-temperature district heating system for a new settlement / N. Nord, M.E. Qvistgaard, G. Cao // Energy Procedia. – 2016. – Vol. 95. – P. 425-432. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.050.
17. Li H. District heating and cooling systems – Future competition or complementarity? / H. Li, S. Svendsen // Energy Procedia. – 2013. – Vol. 42. – P. 1-10. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.001.
18. OECD. Clean Household Energy Consumption in Kazakhstan: A Roadmap. – Paris: OECD Publishing, 2020. https://doi.org/10.1787/551f0613-en.
19. Asian Development Bank. A Guide to Developing Master Plans for Sustainable Heating in Kazakhstan. – Manila: ADB, 2023.
20. Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. Национальный доклад по энергосбережению и энергоэффективности в Республике Казахстан за 2023-2024 гг. – Астана, 2025.

References

1. Gromov N.K. Gorodskie teplofikatsionnye sistemy / N.K. Gromov. – M.: Ehnergiya, 1974. – 408 s. (in Russian).
2. Prokhorenkov A.M. Analiz rezhimov raboty sistem teplosnabzheniya / A.M. Prokhorenkov, N.M. Kachala // Novosti teplosnabzheniya. – 2013. – № 6(154). – S. 12-18. (in Russian).
3. The First Fifth-Generation District Heating and Cooling System in Kazakhstan: Planning and Design / S. Chicherin et al // Energies. – 2024. – Vol. 17, № 23. – Art. 6169. https://doi.org/10.3390/en17236169. (in English).
4. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems / H. Lund et al // Energy. – 2014. – Vol. 68. – P. 1-11. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089. (in English).

5. Chicherin S. Advanced Control of a District Heating System with High Residential Domestic Hot Water Demand / S. Chicherin, L. Junussova, T. Junussov // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 209. – 01004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020901004. (in English).
6. Potential site evaluation of fifth-generation district heating and cooling networks under uncertain energy market conditions: A two-step robust design analysis approach / A. Mehmood et al // Energy. – 2024. – Vol. 311. – Art. 133334. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133334. (in English).
7. Zakon Respubliki Kazakhstan ot 13 yanvarya 2012 goda № 541-IV «Ob ehnergosberezhenii i povyshenii ehnergoehffektivnosti» (s izm. i dop. po sostoyaniyu na 2024 g.). (in Russian).
8. Annex XI Final Report. Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems / H. Averfalk et al. – IEA District Heating and Cooling, 2017. (in English).
9. Pellegrini M. The Innovative Concept of Cold District Heating Networks: A Literature Review / M. Pellegrini, A. Bianchini // Energies. – 2018. – Vol. 11, №. 1. – Art. 236. https://doi.org/10.3390/en11010236. (in English).
10. Smart district heating / S. Buffa et al // Urban Energy Transition. – 2nd ed. – Elsevier, 2018. – P. 327-346. (in English).
11. Chicherin S. Justifying network reconstruction when switching to low temperature district heating / S. Chicherin, A. Starikov, A. Zhuikov // Energy. – 2022. – Vol. 248. – Art. 123593. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123593. (in English).
12. Research progress on the fifth-generation district heating system based on heat pump technology / Y. Gong et al // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 71. – Art. 106533. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106533. (in English).
13. The First 5th Generation District Heating and Cooling (5GDHC) System in Kazakhstan: Planning and Designing / S. Chicherin et al // Preprints. – 2024. – Art. 202411.0680. https://doi.org/10.20944/preprints202411.0680.v1. (in English).
14. ST RK 3838-2023. Ehnergeticheskii audit (ehnergoaudit). Trebovaniya k kompetentnosti ehnergoauditora. – Utv. prikazom Komiteta tekhnicheskogo regulirovaniya i metrologii MI RK ot 25.12.2023. (in Russian).
15. GOST 30494-2011. Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh. – M.: Standartinform, 2013. (in Russian).
16. Nord N. Identifying key design parameters of the high-temperature district heating system for a new settlement / N. Nord, M.E. Qvistgaard, G. Cao // Energy Procedia. – 2016. – Vol. 95. – P. 425-432. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.050. (in English).
17. Li H. District heating and cooling systems – Future competition or complementarity? / H. Li, S. Svendsen // Energy Procedia. – 2013. – Vol. 42. – P. 1-10. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.001. (in English).
18. OECD. Clean Household Energy Consumption in Kazakhstan: A Roadmap. – Paris: OECD Publishing, 2020. https://doi.org/10.1787/551f0613-en. (in English).
19. Asian Development Bank. A Guide to Developing Master Plans for Sustainable Heating in Kazakhstan. – Manila: ADB, 2023. (in English).
20. Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. Natsional'nyi doklad po ehnergosberezheniyu i ehnergoehffektivnosti v Respublike Kazakhstan za 2023-2024 gg. – Astana, 2025. (in Russian).

Н.К. Ердыбаева*, Ж.Р. Баденова
Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
070000, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, Серікбаев көшесі, 19
*e-mail: nyerdybayeva@mail.ru

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ОРТАЛЫҚТАНДЫРЫЛҒАН ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖЫЛУ ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Мақалада Шығыс Қазақстан облысы мысалында орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйелерінде интеллектуалды жылу желілерін (Smart Heating Network, SHN) енгізу тиімділігін бағалаудың кешенді тәсілі ұсынылған. Зерттеу нысаны ретінде тозу деңгейі жоғары және жылу шығындары айтарлықтай болатын «Шығыс Жылу» АҚ жылумен жабдықтау жүйесі қарастырылған. Құбыр желілерінің жай-күйі, гидравликалық және температуралық режимдер талданып, жылу энергиясын тасымалдаудағы тиімсіздіктің негізгі себептері анықталды. Цифрлық датчиктерді, автоматтандырылған жылу пункттерін және болжамды басқаруды пайдалануға негізделген SHN

енгізу тұжырымдамасы ұсынылды. SHN қолдану жылумен жабдықтау режимдерін өзгермелі жүктемелерге бейімдеуді, жылу шығындарын азайтуды және жүйенің тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететіні анықталды. Цифрлық шешімдерді енгізудің техникалық-экономикалық негізділігі дәлелденді. Интеллектуалды басқаруды интеграциялау жылу энергиясын 15–30% үнемдеуге мүмкіндік беретіні көрсетілді. Жұмыстың практикалық маңызы жылумен жабдықтау жүйелерін жаңғырту бойынша ұсынымдар әзірлеуде көрінеді.

Түйін сөздер: *интеллектуалды жылу желілері; энергоаудит; жылу шығындары; орталықтандырылған жылумен жабдықтау; энергия тиімділігі; цифрландыру.*

N.K. Yerdybayeva[1]*, Zh.R. Badenova[2]
[1]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
070000, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev Street, 19
*e-mail: nyerdybayeva@mail.ru

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF INTELLIGENT HEATING NETWORKS IN DISTRICT HEATING SYSTEMS OF EAST KAZAKHSTAN REGION

The article presents a comprehensive approach to assessing the efficiency of implementing intelligent heating networks (Smart Heating Network, SHN) in district heating systems using the East Kazakhstan region as a case study. The object of the study is the heat supply system of JSC «Shygys Zhylu», characterized by a high level of infrastructure wear and significant heat losses. The condition of pipelines, as well as hydraulic and temperature regimes, were analyzed, and the main causes of inefficiencies in heat energy transportation were identified. A concept for implementing SHN based on the use of digital sensors, automated heat substations, and predictive control is proposed. The results show that the application of SHN ensures adaptation of heat supply modes to variable loads, reduction of heat losses, and improvement of system efficiency. The technical and economic feasibility of implementing digital solutions is substantiated. It is demonstrated that the integration of intelligent control allows achieving heat energy savings of 15-30%. The practical significance of the study lies in the development of recommendations for the modernization of district heating systems.

Key words: *intelligent heating networks; energy audit; heat losses; district heating; energy efficiency; digitalization.*

Сведения об авторах

Жанар Рамазановна Баденова – докторант по специальности «Теплоэнергетика», Школа архитектуры, строительства и энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск; e-mail: janara1993m@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7326-1714.

Назгуль Кадырбековна Ердыбаева* – доктор физико-математических наук, Школа архитектуры, строительства и энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск; e-mail: nyerdybayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0314-0503.

Авторлар туралы мәліметтер

Жанар Рамазановна Баденова – «Жылу энергетикасы» мамандығы бойынша докторант, Сәулет, құрылыс және энергетика мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.; e-mail: janara1993m@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7326-1714.

Назгуль Кадырбековна Ердыбаева* – физика-математика ғылымдарының докторы, Сәулет, құрылыс және энергетика мектебі; Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.; e-mail: nyerdybayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0314-0503.

Information about the authors

Zhanar Ramazanovna Badenova – doctoral student in Heat Power Engineering, School of Architecture, Civil Engineering and Energy, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: janara1993m@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7326-1714.

Nazgul Kadyrbekovna Yerdybayeva* – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, School of Architecture, Civil Engineering and Energy, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: nyerdybayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0314-0503.

Поступила в редакцию 07.04.2026
Поступила после доработки 18.08.2026
Принята к публикации 02.09.2026