



СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Р.Н. Валиев

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

valievkgeu@yandex.ru

Резюме: Тепловая сеть, которая выработала свой ресурс, нуждается в реконструкции. На этапе составления технического задания возникает необходимость в определении наиболее выгодного с точки зрения капитальных и эксплуатационных затрат варианта прокладки тепловой сети. В статье предложена и рассмотрена методика сравнения эффективности вариантов реконструкции тепловой сети, которая учитывает затраты на строительство и транспортировку теплоносителя, тепловые потери и потери с утечками в окружающую среду. Суть методики заключается в выборе и определении нескольких, наиболее значимых видов затрат и потерь для каждого из рассматриваемых вариантов реконструкции тепловой сети и последующем сравнении и сопоставлении их относительных значений по вариантам. Методика сочетает в себе определение нормативной цены строительства по укрупненным нормативам с расчетом тепловых сетей с использованием возможностей программного обеспечения ZuluThermo и MS Excel. Рассмотрена и рассчитана распределительная тепловая сеть и возможные варианты ее реконструкции. Для каждого варианта проведены: конструкторский расчет для определения диаметров трубопроводов на участках и наладочный расчет для определения расчетных значений характеристик тепловой сети. Выполнено сравнение эффективности вариантов. Наиболее эффективным является вариант с бесканальной прокладкой трубопроводов в битумоперлитной изоляции с насосным смешением у потребителя, но по причине того, что теплотрасса проходит через промышленную зону, к прокладке рекомендован чуть менее эффективный вариант реконструкции с надземной прокладкой трубопроводов на низких опорах в пенополиуретановой изоляции с насосным смешением у потребителя.

Ключевые слова: система теплоснабжения; тепловая сеть; реконструкция; затраты; выбор варианта; ZuluThermo.

Для цитирования: Валиев Р.Н. Сравнение эффективности вариантов реконструкции тепловой сети // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 4. С. 135-146. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-4-135-146.

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF OPTIONS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE HEATING NETWORK

Valiev R.N.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

valievkgeu@yandex.ru

Abstract: The heating network of the heat supply system, which has exhausted its resource, needs reconstruction. At the stage of choosing the method of relaying the heating network, there is a need to determine the most profitable reconstruction option in terms of capital and operating costs. The article proposes a methodology based on the comparison and contrast of the most significant types of costs and losses during the life cycle of heat networks: during construction, during the transportation of heat carrier, in case of leaks of heat carrier and through thermal insulation. A comparative analysis of possible options based on relative performance indicators determined as a result of processing initial, standard and calculated data is carried out using ZuluThermo and MS Excel programs. The distribution heating network and possible options for its reconstruction are considered and calculated. For each option, a design calculation was carried out to determine the diameters of pipelines in the sections and an adjustment calculation to determine the calculated values of the

characteristics of the heating network. A comparison of the effectiveness of the options was performed. The most effective option is with duct-free piping in bitumen-perlite insulation with pumping mixing for the consumer, but due to the fact that the heating main passes through an industrial area, a slightly less efficient reconstruction option with above-ground piping on low supports in polyurethane foam insulation with pumping mixing for the consumer is recommended. The methodology can be used to substantiate the choice of the option for the reconstruction of the heat supply network.

Keywords: *heat supply system; heat network; reconstruction; costs; choice of option; ZuluThermo.*

For citation: Valiev R.N. Comparison of the efficiency of options for the reconstruction of the heating network. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2025; 27 (4): 135-146. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-4-135-146.

Введение (Introduction)

Одним из основных векторов развития теплоэнергетики в России является повышение экономической эффективности систем теплоснабжения и снижение затрат на их строительство и обслуживание. Этого можно достичь, если дальнейшее развитие систем теплоснабжения потребителей будет осуществляться на основе внедрения энергоэффективных и экономичных технологий и оборудования.

Цель работы заключается в выборе и определении нескольких, наиболее значимых видов затрат и потерь для каждого из рассматриваемых вариантов реконструкции тепловой сети и последующем сравнении и сопоставлении их относительных значений для определения наиболее эффективного варианта.

Актуальность выбранной темы определяется необходимостью масштабного обновления выработавших технический ресурс тепловых сетей. В статье [1] приведены данные, согласно которым износ трубопроводов в городе Казань составляет 55 %, в городе Набережные Челны 56 %, в городе Нижнекамске 80 %. Тепловые сети являются достаточно дорогостоящими сооружениями, на их строительство и эксплуатацию затрачиваются значительные средства и ранжирование вариантов реконструкции тепловых сетей по затратам и потерям на этапе реновации может помочь теплоснабжающим организациям сэкономить материальные и энергетические ресурсы в будущем. Эффективная работа систем централизованного теплоснабжения во многом зависит от правильного проектирования, строительства и технической эксплуатации.

Обзор литературы (Literature review)

Многие научные публикации посвящены повышению эффективности работы тепловых сетей. В статье [2] авторы обратили внимание на то, что на затраты при строительстве и эксплуатации тепловых сетей сильное влияние оказывает протяженность тепловых сетей, определяемая планировкой городских территорий. В статье [3] при сравнении вариантов схем теплоснабжения авторы пришли к выводу, что точность решения задачи оптимизации зависит от правильного выбора оптимизируемых параметров и используемых весовых коэффициентов. В статье [4] предложено решение проблемы выбора оптимального маршрута для строительства сети теплоснабжения с большим количеством соединений, разработаны критерии, которые позволяют определить интегральные показатели такой сети, отмечена важность применения масштабирования и весовых коэффициентов. В статье [5] описан пример совместного использования ZuluGIS и MS Excel для анализа эффективности перевода Омских тепловых сетей на более низкий температурный график. В статье [6] и статье [7] на примере Омской тепловой сети показано, как объединив геоинформационную систему и модель прогнозирования спроса на энергию, создать эффективный и чувствительный к изменениям инструмент для принятия обоснованных решений по повышению качества теплоснабжения. В статье [8] предложена и апробирована методика определения основных факторов, влияющих на экономическую эффективность сетей централизованного теплоснабжения на основе сравнительного анализа по эталонным показателям, в качестве которых авторами выбраны длина и пропускная способность тепловых сетей. Методика предназначена для использования при строительстве новых и реконструкции существующих сетей централизованного теплоснабжения. В статье [9] для исключения ошибок при выборе теплотрассы предлагается использовать объединяющий отдельные показатели векторный критерий, который зависит от материальной характеристики, тепловой нагрузки, тепловых потерь,

показателя надежности и конструктивных особенностей тепловой сети. В статье [10] описан программный продукт динамического моделирования систем централизованного теплоснабжения, разработанный на базе программного обеспечения MatLab, который позволяет оценивать и оптимизировать энергетические, экологические и экономические показатели стандартных и инновационных систем централизованного теплоснабжения с учетом наиболее важных проектных и эксплуатационных параметров, приведен пример динамического моделирования. Авторами статьи [11] предложены зависимости для проведения предпроектного анализа систем теплоснабжения, позволяющие найти нормативные значения показателей плотности тепловой нагрузки на единицу площади района теплоснабжения и на единицу протяженности трубопроводов. Проведенные исследования показали, что чем ниже значение плотности тепловой нагрузки на единицу площади района теплоснабжения, тем выше удельная стоимость выработки, распределения и передачи тепла. Авторы статьи [12] в своей работе рассмотрели математическую модель кольцевой системы теплоснабжения с несколькими источниками тепла, основанную на соблюдении требований по ограничению теплоснабжения в аварийных условиях. Использование этой модели позволяет проверить работоспособность системы теплоснабжения на разных режимах работы. В статье [13] представлены результаты сравнительного исследования вариантов теплоснабжения зданий с пониженным теплоснабжением, из которых следует, что в городских условиях варианты с сетями централизованного теплоснабжения в большинстве случаев имеют наименьшую стоимость, а индивидуальное теплоснабжение наибольшую. В [14] статье авторы предложили методику для оценки эффективности систем теплоснабжения, на основе весовых коэффициентов, которые будут, определяться отдельными группами экспертов по каждому учитываемому в методике удельному показателю. В результате суммирования удельных показателей с учетом весовых коэффициентов формируется единый числовой показатель определяющий, насколько система теплоснабжения соответствует требованиям экспертов. Методика подходит для оценки эффективности, как отдельного участка тепловой сети, так и всей системы теплоснабжения в целом. В статье [15] авторами предложена методика определения наиболее выгодного варианта трассировки тепловой сети на основе решения многокритериальной задачи, определены критерии оптимальности, разработана программа для расчета оптимального маршрута теплосети и приведен пример работы программы при ограниченном количестве исходных данных.

Материалы и методы (Materials and methods)

Для анализа вариантов реконструкции тепловых сетей использован метод, основанный на расчетном моделировании вариантов реконструкции тепловой сети в ZuluThermo с последующей обработкой результатов в MS Excel. ZuluThermo - программное обеспечение и вычислительный инструмент для быстрого описания, расчета и анализа работы тепловых сетей с использованием вычислительных возможностей компьютеров, планшетов и смартфонов. Рабочей платформой для ZuluThermo является геоинформационная система ZuluGIS, в которой можно на постоянной основе отслеживать уровень урбанизации любой территории.

Для определения капитальных затрат на строительство тепловых сетей использована нормативная цена строительства тепловых сетей (далее по тексту НЦС), которая определяется на основе данных из сборника нормативных цен на строительство тепловых сетей¹ (далее по тексту НТД с НЦС).

НЦС представляет собой сумму денег, которую нужно потратить на то, чтобы создать наружную тепловую сеть. НЦС учитывает финансовые затраты на проектирование и экспертизу, строительство и надзор и другие необходимые для строительства тепловых сетей расходные статьи. Основное назначение НЦС: предварительное планирование смет; формирование инвестиционных предложений; контроль эффективности расходования средств. К сожалению, данные по НЦС тепловых сетей, представленные в НТД с НЦС охватывают далеко не весь перечень возможных технологических решений, и это ограничивает область применения методики. Например, в НТД с НЦС отсутствует информация по вариантам прокладки тепловых сетей в армопенобетонной (АПБ) и пенополимерминеральной (ППМ) изоляции.

Данные по НЦС, приведенные к размерности тыс. руб/м, представлены на рис. 1. Для учета территориального расположения объекта к данным при расчетах необходимо

¹ Стандарты цен на строительство РФ «НТС 81-02-13-2024 Сборник N 13. Наружные тепловые сети» от 26.02.2024 Том 81-02-13-2024.

¹ Construction price standards of the Russian Federation «NTS 81-02-13-2024 Assemblage N 13. External heating networks» of 26.02.2024 Volume 81-02-13-2024.

применять поправочный коэффициент, который в нашем случае равен 0,94.

Суть предлагаемой методики заключается в выборе и определении нескольких, наиболее значимых видов потерь и затрат для каждого из рассматриваемых вариантов реконструкции тепловой сети и последующем сравнении и сопоставлении их относительных значений по вариантам. Варианты реконструкции тепловых сетей в основном отличаются друг от друга типом и видом прокладки тепловой сети и способом подключения потребителей. Для сравнения вариантов реконструкции тепловой сети определяются значения следующих характеристик тепловых сетей:

1) расчетная нормативная цена строительства тепловых сетей, как показатель капитальных затрат;

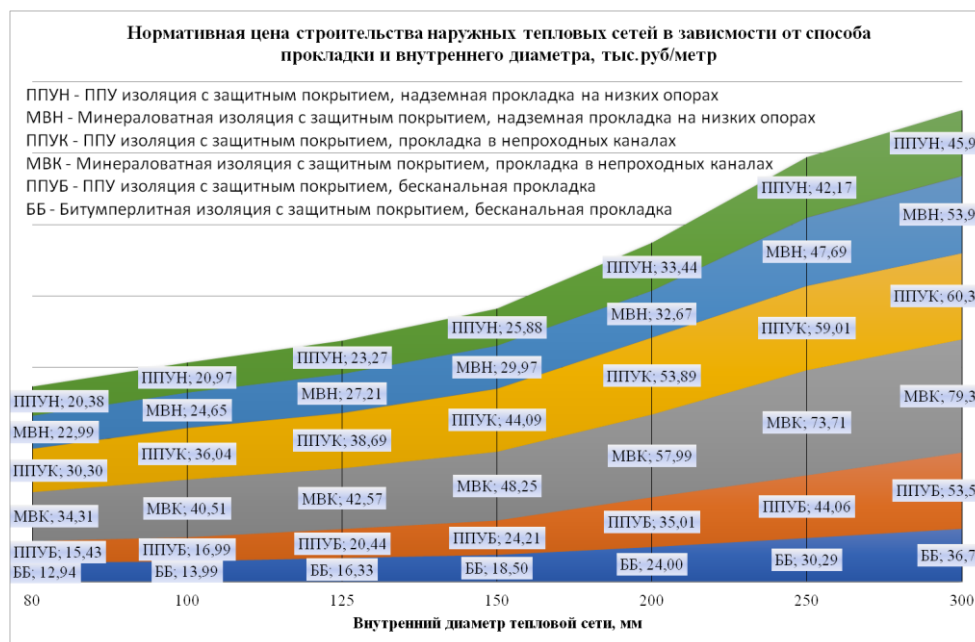


Рис. 1. НЦС наружных тепловых сетей для города Москвы, без учета поправочных коэффициентов

Fig. 1. NCS of external heating networks for the city of Moscow, without taking into account the correction factors

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

- 2) расчетные нормативные потери теплоты, как показатель эксплуатационных затрат;
- 3) расчетные нормативные потери теплоносителя с утечками, как показатель эксплуатационных затрат;
- 4) расчетные затраты электрической энергии на транспортировку теплоносителя, как показатель эксплуатационных затрат.

Расчетное моделирование в ZuluThermo предлагается проводить в следующем порядке. Сначала на специальном расчетном слое рисуется схема тепловой сети и вводится исходная информация в базы данных слоя, т.е. создается расчетная модель.

Затем производятся необходимые расчеты, определяются и анализируются материальные и эксплуатационные характеристики для всех возможных вариантов реконструкции тепловой сети.

Для быстрого сравнения и сопоставления, различных по своей природе характеристик применяется бенчмаркинг по относительным значениям. Для каждой рассматриваемой в методике характеристики, из всех возможных вариантов реконструкции определяется вариант с наибольшим значением этой характеристики, которому присваивается относительное значение характеристики равное 1 или 100 %. Остальные относительные значения характеристик по вариантам определяются пересчетом и попадают в диапазон значений от 0 до 1 или от 0 до 100 %.

После определения относительных значений каждой характеристики производится их сложение (или усреднение) по каждому варианту. Затем из возможных вариантов реконструкции выбирается вариант с наибольшим значением суммы (или среднего) относительных значений его характеристик, которому присваивается значение обобщенного относительного показателя равное 100 % или 1. Значения обобщенных относительных показателей для остальных вариантов после пересчета попадают в диапазон значений от 0 до 1 или от 0 до 100 %.

Пригодными для выбора считаются варианты, которые имеют наименьшее или близкое к нему значение обобщенного относительного показателя и которые соответствуют техническим условиям и нормативным требованиям, предъявляемым к тепловой сети. Эксперт, осуществляющий выбор, может обоснованно отклонить вариант с наименьшим значением обобщенного относительного показателя, как и любые другие рассмотренные варианты, если по ним не соблюдаются технические условия или нормативные требования. Лучше всего проверить сравниваемые варианты на соответствие условиям и требованиям заранее.

Результаты и обсуждение (Results and discussion)

В качестве объекта исследования выбрана распределительная тепловая сеть, которая выработала свой ресурс и требует перекладки при условии сохранения прежней трассировки. Располагаемый напор в точке подключения распределительной тепловой сети к тепловоду ТЭЦ составляет 54 м.в.ст. Температурный график в тепловode от ТЭЦ 150/70 со срезкой на уровне 130 °С и полкой на уровне 70 °С.

Схема расчетной модели распределительной тепловой сети, составленная по исходным данным в программном обеспечении ZuluThermo, представлена на рис.2.

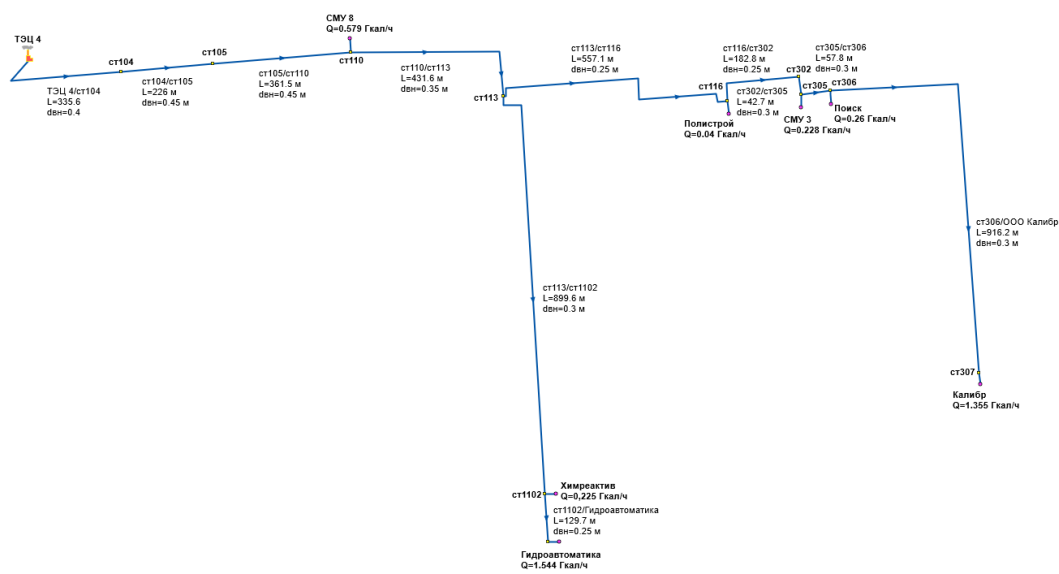


Рис. 2. Принципиальная схема расчетной модели тепловой сети

Fig. 2. Schematic diagram of the calculation model of the heating network

Расчетное моделирование тепловой сети выполнено для семи вариантов прокладки тепловых сетей. Выполнялись два вида расчетов: конструкторский, для определения диаметров трубопроводов на участках и наладочный, для определения расчетных значений характеристик реконструируемой тепловой сети.

Результаты расчетов по вариантам представлены в таблице 1.

Расчеты производились поэтапно. На первом этапе был рассчитан исходный, нулевой вариант тепловой сети. На последующих шести этапах в базы данных ZuluThermo вносились изменения в соответствии с выбранным вариантом реконструкции тепловой сети, и производился перерасчет на новых условиях. Нулевой вариант (ЭС 1989 ИД Н) рассчитан по следующим исходным данным: элеваторное смешение у потребителя; теплопотери по нормам до 1989 года; исходные диаметры; надземная прокладка на низких опорах. Остальные 6 вариантов рассчитаны в следующих конфигурациях:

1 вариант (ЭС 2004 ОД Н) – элеваторное смешение у потребителя; теплопотери по нормам после 2004; диаметры из конструкторского расчета; надземная прокладка на низких опорах.

2 вариант (ЭС 2004 ОД К) – элеваторное смешение у потребителя; теплопотери по нормам после 2004 года; диаметры из конструкторского расчета; канальная прокладка.

3 вариант (ЭС 2004 ОД Б) – элеваторное смешение у потребителя; теплопотери по нормам после 2004 года; диаметры из конструкторского расчета; бесканальная прокладка.

4 вариант (НС 2004 ОД Н) – насосное смешение у потребителя; теплопотери по нормам после 2004 года; диаметры из конструкторского расчета; надземная прокладка на низких опорах.

5 вариант (НС 2004 ОД К) – насосное смешение у потребителя; теплотери по нормам после 2004 года; диаметры из конструкторского расчета; канальная прокладка.

6 вариант (НС 2004 ОД Б) – насосное смешение у потребителя; теплотери по нормам после 2004 года; диаметры из конструкторского расчета; бесканальная прокладка.

По результатам расчета, в нулевом варианте распределительная тепловая сеть работает в режиме аккумулятора теплоты, потому что из-за несоответствия тепловых нагрузок и пропускной способности трубопроводов скорость движения теплоносителя на участках получается очень низкая. В остальных вариантах тепловая сеть работает в режиме циркуляции с потерями давления в районе 100 Па/м. Располагаемый напор в точке подключения распределительных тепловых сетей к тепловоду ТЭЦ определяется потерями давления на участках и у потребителей.

Таблица 1

Table 1

Результаты расчетного моделирования в ZuluThermo

Results of computational modeling in ZuluThermo

Характеристика	Ед. изм.	ЭС 1989 ИД Н	ЭС 2004 ОД Н	ЭС 2004 ОД К	ЭС 2004 ОД Б	НС 2004 ОД Н	НС 2004 ОД К	НС 2004 ОД Б
Номер варианта		0	1	2	3	4	5	6
Количество тепла, вырабатываемое на источнике	Гка л/ч	13,050	11,834	11,582	11,768	11,834	11,582	11,768
Тепловые потери в подающем трубопроводе	Гка л/ч	1,01404	0,38575	0,28752	0,41893	0,38575	0,28752	0,41893
Тепловые потери в обратном трубопроводе	Гка л/ч	0,78049	0,27739	0,12290	0,17890	0,27739	0,12290	0,17890
Потери тепла от утечек в подающем трубопроводе	Гка л/ч	0,10069	0,03332	0,03338	0,03329	0,03332	0,03339	0,03329
Потери тепла от утечек в обратном трубопроводе	Гка л/ч	0,05294	0,01781	0,01796	0,01791	0,01781	0,01796	0,01791
Потери тепла от утечек в системах теплоснабжения	Гка л/ч	0,05456	0,05451	0,05451	0,05450	0,05451	0,05452	0,05450
Суммарный расход в подающем трубопроводе	т/ч	201,026	191,059	189,445	191,600	191,059	189,445	191,600
Суммарный расход в обратном трубопроводе	т/ч	198,510	189,678	188,064	190,220	189,678	188,064	190,220
Суммарный расход на подпитку	т/ч	2,516	1,381	1,381	1,381	1,381	1,381	1,381
Расход воды на утечки из подающего трубопровода	т/ч	0,84297	0,27528	0,27528	0,27528	0,27528	0,27528	0,27528
Расход воды на утечки из обратного трубопровода	т/ч	0,84297	0,27528	0,27528	0,27528	0,27528	0,27528	0,27528
Расход воды на утечки из систем теплоснабжения	т/ч	0,83003	0,83002	0,83003	0,83003	0,83002	0,83003	0,83002
Давление в подающем трубопроводе	м	34,000	69,900	68,800	69,900	56,100	54,900	56,200
Давление в обратном трубопроводе	м	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Располагаемый напор	м	22,000	57,900	56,800	57,900	44,100	42,900	44,200
Температура в подающем трубопроводе	°С	130,000	130,000	130,000	130,000	130,000	130,000	130,000
Температура в обратном трубопроводе	°С	65,842	68,522	69,334	69,042	68,522	69,334	69,042
Потребляемая электрическая мощность, кВт	кВт	19,80	49,52	48,17	49,66	37,72	36,38	37,91

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Примечание: ЭС и НС – элеваторное или насосное смешение, 1989 и 2004 – методика расчета нормативных тепловых потерь до 1989 и после 2004; ИД и ОД – исходные диаметры трубопроводов и диаметры из конструкторского расчета; Н, К, Б – способы прокладки: канальный,

бесканальный или надземный.

Note: ES and NS – elevator or pump mixing, 1989 and 2004 – methods for calculating standard heat losses before 1989 and after 2004; ID and OD – initial pipeline diameters and diameters from design calculations; N, K, B – installation methods: channel, channelless or aboveground.

В вариантах 1, 2 и 3 с гидроэлеваторами и «конструкторскими» оптимизированными диаметрами, расчетный располагаемый напор в точке подключения к тепловоду ТЭЦ незначительно превышает фактический, равный 54 м.в.ст (см. рис. 3). В вариантах 4, 5 и 6 с насосным смешением и оптимизированными диаметрами, наоборот имеется запас располагаемого напора (см. рис. 4).

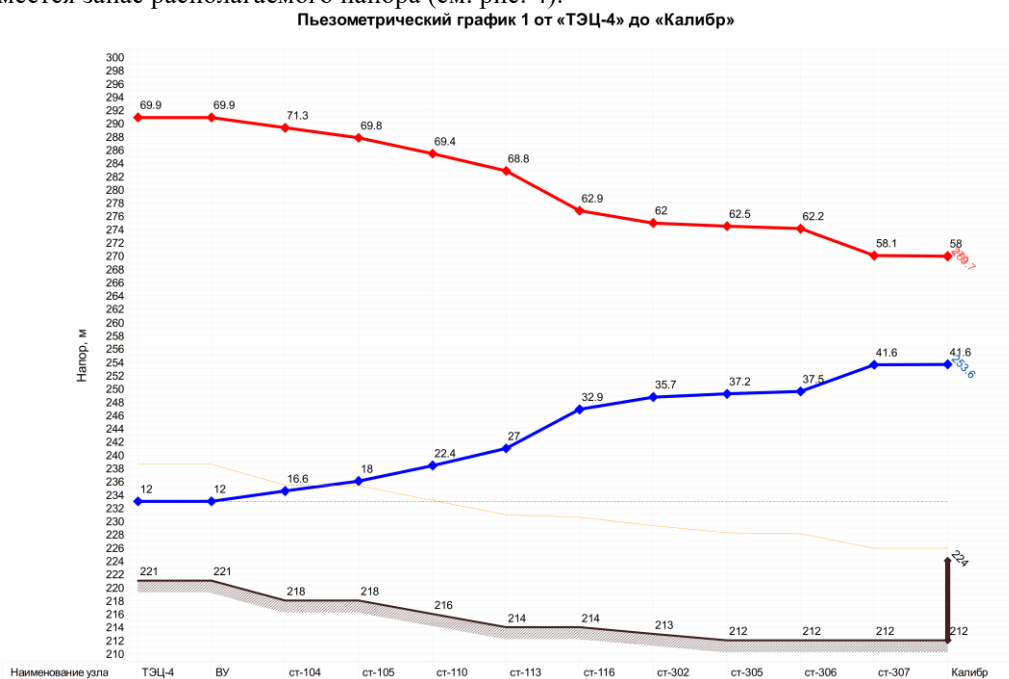


Рис.3. Пьезометрический график для варианта с элеваторным смешением Fig. 3. Piezometric graph for the variant with elevator mixing

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

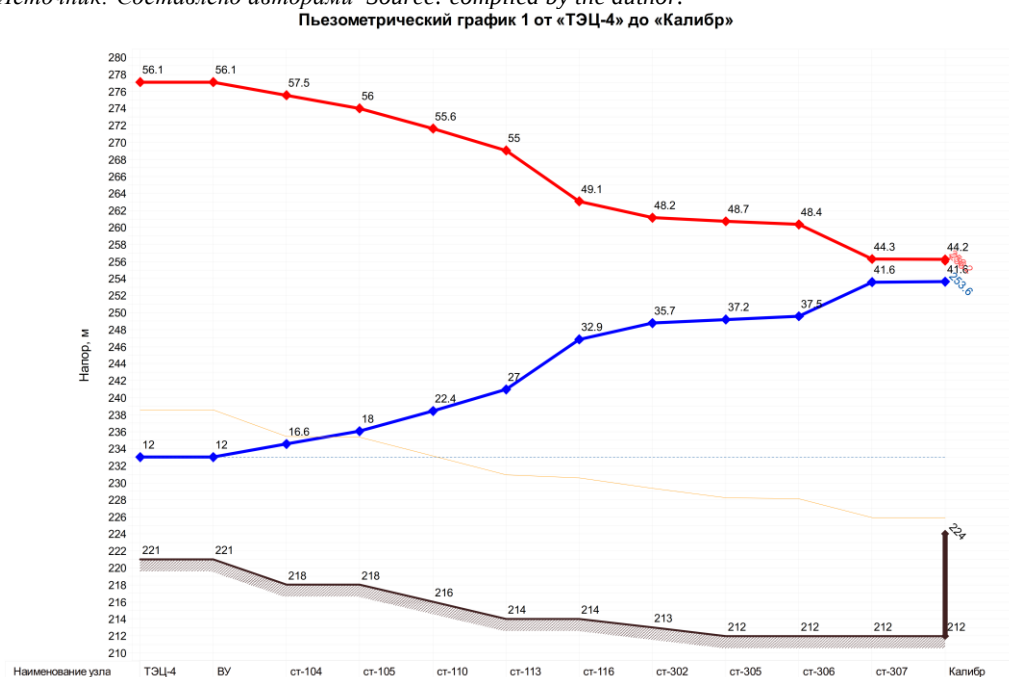


Рис.4 Пьезометрический график для варианта с насосным смешением Fig.4 Piezometric graph for the variant with pump mixing

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Относительные значения НЦС, как характеристики капитальных затрат с учетом способа прокладки и трассировки приведены на диаграмме на рис. 5. Относительные

значения трех эксплуатационных характеристик по каждому варианту представлены на диаграммах на рис.6-8.

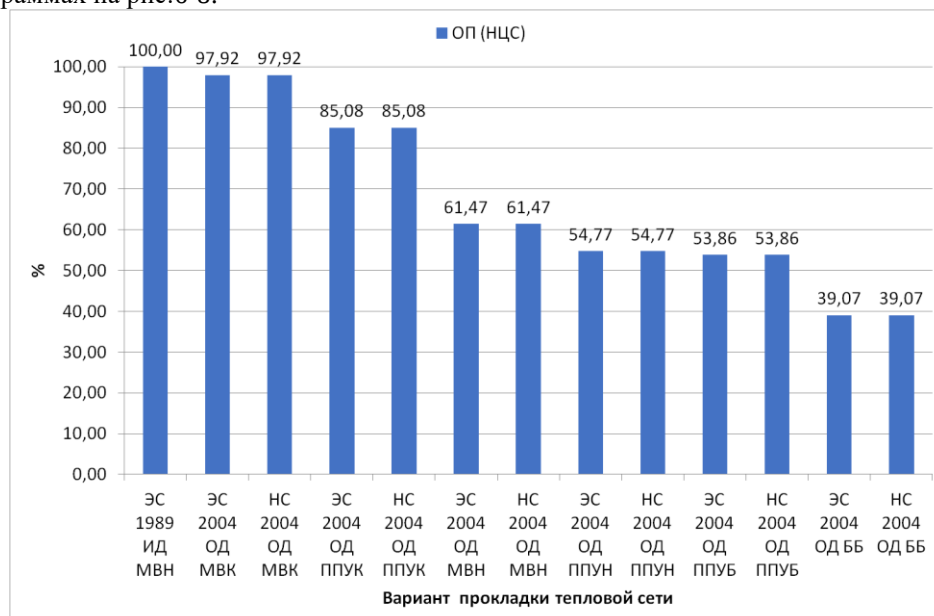


Рис. 5. Относительные значения потерь НТС по вариантам (ОП (НТС))

Fig. 5. Relative values of NTS losses by variants (OP (NTS))

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Наиболее дорогой в строительстве является надземная прокладка для исходного (нулевого) варианта теплоснабжения, главным образом из-за использования больших, чем у других вариантов диаметров трубопроводов на участках. Далее по порядку убывания затрат идут варианты с оптимизированными диаметрами: канальная (К), надземная на низких опорах (Н) и бесканальная на глубине до 2 метров (Б) с использованием минераловатной (МВ), пенополиуретановой (ППУ) и битумоперлитной теплоизоляции (Б). Наиболее дорогой является канальная прокладка в минераловатной теплоизоляции, наиболее дешевой бесканальная с битумоперлитной теплоизоляцией. По экономичности затрат в строительство лидируют варианты бесканальной прокладки ББ, ППУ и надземной ППУ. Схема подключения потребителей, элеваторная или насосная на относительное значение НТС прямого влияния не оказывает, так не входит в стоимость работ. На НТС в основном влияет материальная характеристика и способ прокладки тепловой сети.

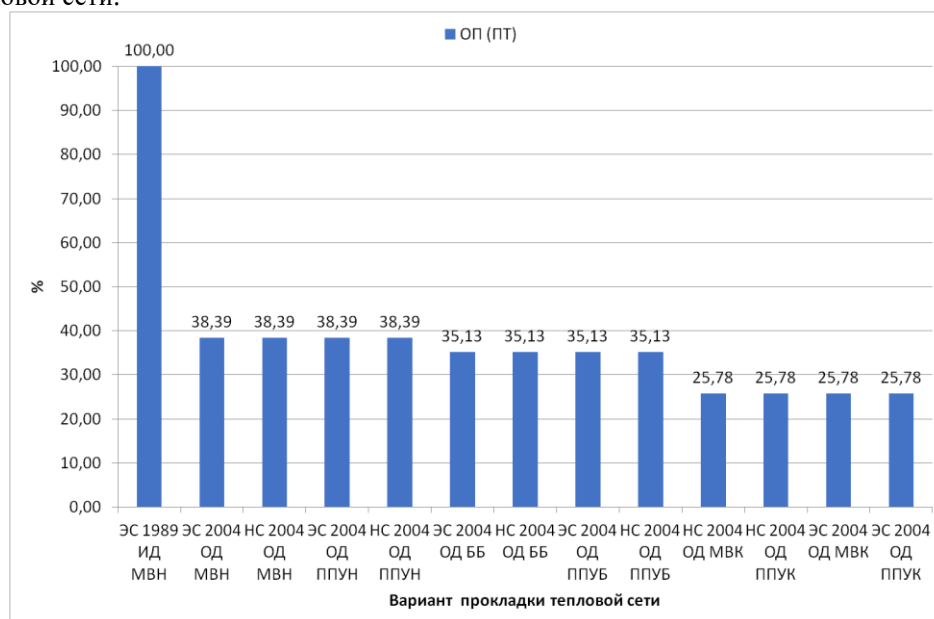


Рис.6. Относительные значения тепловых потерь по вариантам (ОП (ПТ))

Fig.6. Relative values of heat losses by variants (OP (PT))

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

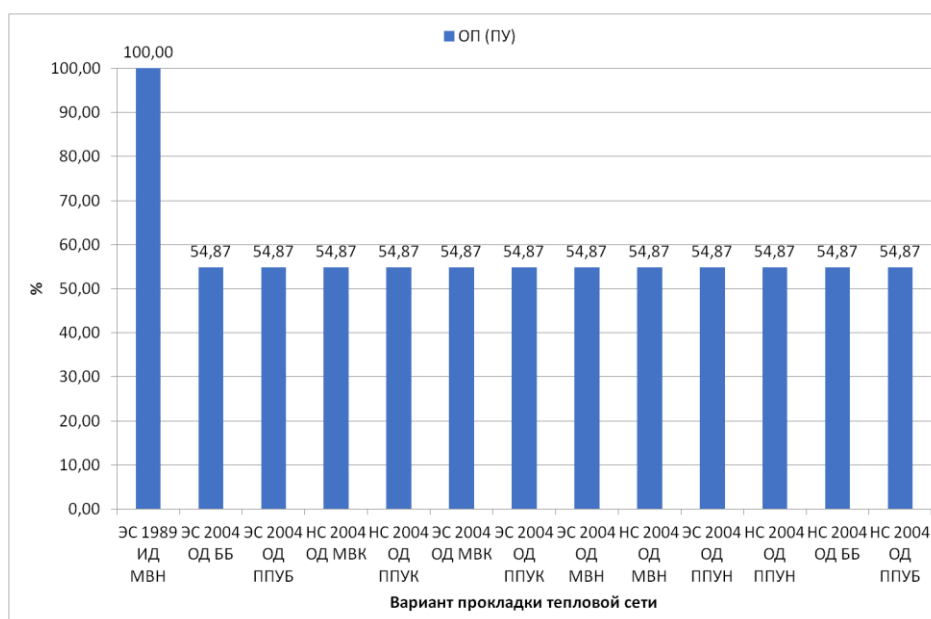


Рис.7. Относительные значения потерь с утечками по вариантам (ОП (ПУ)) *Fig.7. Relative values of leakage losses by variants (OP (PU))*

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

У оптимизированных по диаметрам вариантов теплопотери получились значительно меньше, чем у базового варианта, что объясняется разницей в нормативах, по которым проектировалась тепловая изоляция до 1989 и после 2004 года и различием в диаметрах трубопроводов. Влияние на теплопотери в тепловой сети оказывают материальная характеристика, способ прокладки и величина утечек. По тепловой эффективности среди способов прокладки на первом месте находится канальная, на втором бесканальная и на третьем надземная прокладка. Схема подключения потребителей на теплопотери прямого влияния не оказывает.

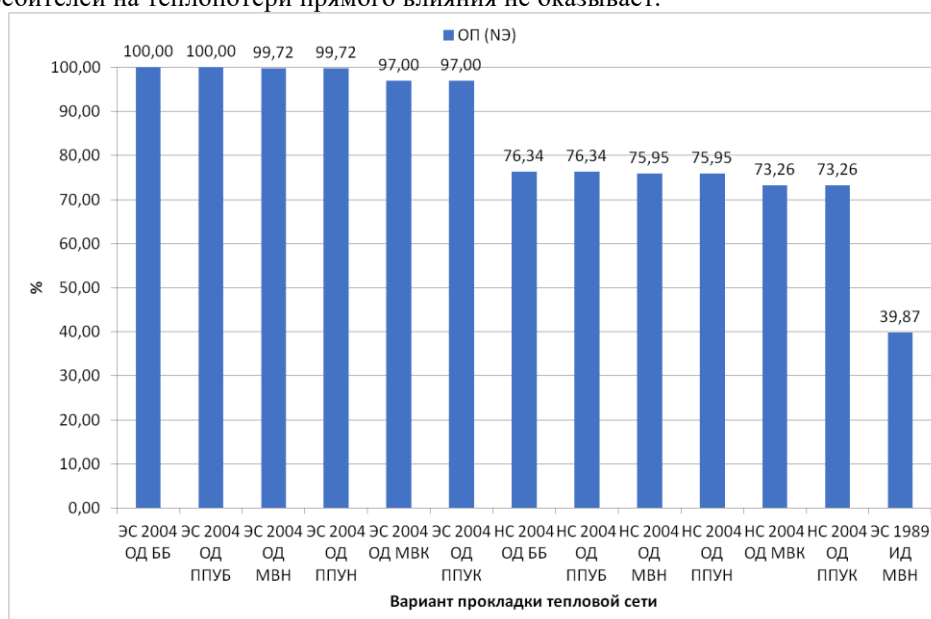


Рис.8. Относительные значения затрат электроэнергии по вариантам (ОП (НЭ)) *Fig8. Relative values of electricity costs by options (OP (NE))*

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Затраты электроэнергии на циркуляцию теплоносителя в базовом варианте сильно меньше чем у других из-за несоответствия, между пропускной способностью трубопроводов и расходами теплоносителя, вода движется очень медленно. Большие затраты электроэнергии в вариантах с гидроэлеваторами, по сравнению с вариантами с насосным смешением наблюдаются из-за необходимости поддержания на входах у потребителей необходимого для работы гидроэлеваторов располагаемого напора. Схема подключения потребителей оказывает прямое влияние на затраты электроэнергии на циркуляцию теплоносителя. Также на затраты электроэнергии оказывает прямое влияние

пропускная способность трубопроводов, расход теплоносителя и наличие дополнительных сопротивлений.

Обобщенные относительные показатели по всем вариантам представлены на рисунке 9.

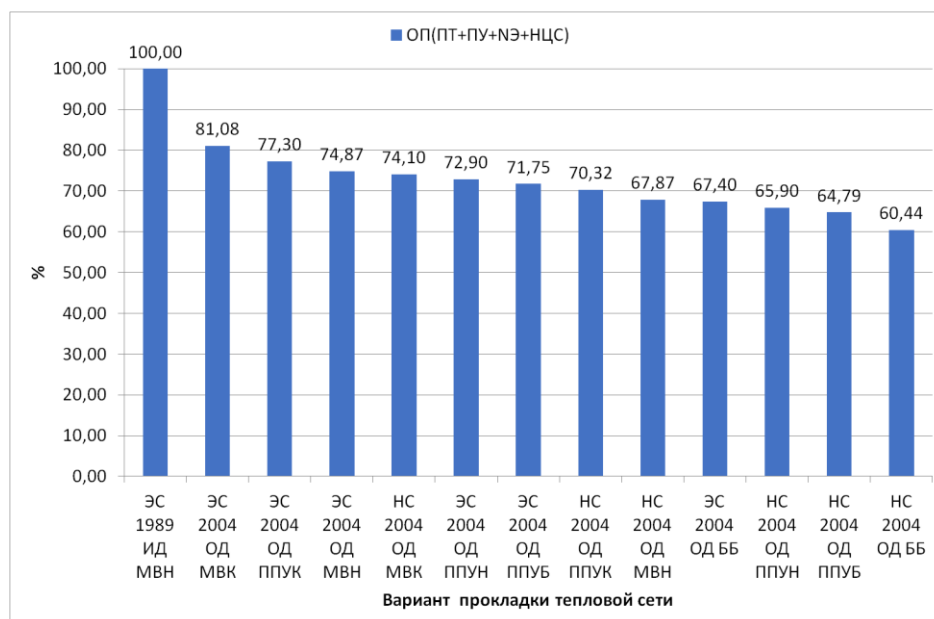


Рис. 9. Обобщенные относительные показатели затрат и потерь по вариантам *Fig. 9. Generalized relative indicators of costs and losses by options*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

Наиболее эффективным по значению обобщенного относительного показателя вариантом реконструкции тепловых сетей является вариант бесканальной прокладки трубопроводов в битумоперлитной изоляции с насосным смешением, затем идут варианты бесканальной и надземной прокладки в пенополиуретановой изоляции с насосным смешением и замыкают пятерку лидеров варианты бесканальной прокладки трубопроводов в битумоперлитной изоляции с элеваторным смешением и надземной прокладки в минераловатной изоляции с насосным смешением. Вариант канальной прокладки в пенополиуретановой изоляции с насосным смешением занимает шестое место. Наиболее эффективным является вариант с бесканальной прокладкой трубопроводов в битумоперлитной изоляции с насосным смешением у потребителя, но по причине того, что теплотрасса проходит через промышленную зону, к прокладке рекомендован вариант реконструкции с надземной прокладкой трубопроводов на низких опорах в пенополиуретановой изоляции с насосным смешением у потребителя.

Ограничения при использовании методики. Перечень доступных для рассмотрения с использованием методики способов прокладки тепловых сетей ограничен способами, приведенными в НТД с НЦС. При реконструкции и строительстве тепловых сетей следует учитывать, что существующая инфраструктура в выделенной полосе отвода строительства (надземные и подземные сооружения и коммуникации, дорожные покрытия и зеленые зоны), а также неблагоприятные условия (погодные, геологические, гидрологические, антропогенные факторы и блуждающие токи) могут потребовать дополнительных затрат.

Закключение (Conclusion)

Рассмотрена и рассчитана распределительная тепловая сеть и возможные варианты ее реконструкции. Для каждого варианта проведены: конструкторский расчет, для определения диаметров трубопроводов на участках и наладочный расчет, для определения расчетных значений характеристик тепловой сети. Предложена и рассмотрена методика сравнения эффективности вариантов реконструкции тепловой сети, которая учитывает затраты на строительство и транспортировку теплоносителя, тепловые потери и потери с утечками в окружающую среду. Выполнено сравнение эффективности вариантов, определен наиболее эффективный вариант и вариант который рекомендован к прокладке.

Литература

1. Совершенствование системы централизованного теплоснабжения: анализ и предложения по повышению надежности / И. Г. Ахметова, А. Я. Сабирзанов, А. Р. Нурисламова, Д. Т. Ахметов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2025. – Т. 17, № 1(65). – С. 71-79.
2. Влияние планировки функциональных зон городов на развитие систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 1(53). – С. 116-123. – DOI 10.25987/VSTU.2019.53.1.011.
3. Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляров, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 4(48). – С. 29-37.
4. Лобода, А. В. Проектирование трасс систем теплоснабжения на основе системного анализа / А. В. Лобода, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 3(55). – С. 11-20. – DOI 10.25987/VSTU.2019.55.3.001.
5. Comparing strategies for improving thermal performance of an existing district heating (DH) network: low temperature DH in Omsk, Russia / S. Chicherin, L. Junussova, T. Junussov, C. Junussov // E3s web of conferences, Barcelona, Spain, 23 апреля 2020 года. Vol. 173. – Barcelona, Spain: EDP Sciences, 2020. – P. 03001. – DOI 10.1051/e3sconf/202017303001.
6. Method for assessing heat loss in a district heating network with a focus on the state of insulation and actual demand for useful energy / S. Chicherin, V. Mašatin, A. Siirde, A. Volkova // Energies. – 2020. – Vol. 13, No. 17. – P. en13174505. – DOI 10.3390/en13174505.
7. Chicherin, S. GIS-based optimisation for district heating network planning / S. Chicherin, A. Volkova, E. Latdšov // Energy Procedia : 16, Hamburg, 09–12 сентября 2018 года. – Hamburg, 2018. – P. 635-641. – DOI 10.1016/j.egypro.2018.08.228.
8. District heating networks: enhancement of the efficiency / U. Sarma, U. Sarma, G. Karnitis, J. Zutters, E. Karnitis // Insights into Regional Development. – 2016. – Vol. 1(3). – P. 200-213. – DOI 10.9770/ird.2019.1.3(2).
9. Solving the multi-criteria optimization problem of heat energy transport / V. Melkumov, S. Tulskeya, A. Chuykina, V. Dubanin // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Vol. 1258. – P. 3-10. – DOI 10.1007/978-3-030-57450-5_1.
10. Novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems / G. Barone, A. Buonomano, A. Palombo, C. Forzano // Energy Conversion and Management. – 2020. – Vol. 220. – P. 113052. – DOI 10.1016/j.enconman.2020.113052.
11. Stennikov, V. A. Optimal planning of heat supply systems in urban areas / V. A. Stennikov, E. E. Iakimets // Energy. – 2016. – Vol. 110. – P. 157-165. – DOI 10.1016/j.energy.2016.02.060.
12. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating / T. Ye, Z. Zhigang, W. Zhaojun. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 146. – P. 386-393. – DOI 10.1016/j.proeng.2016.06.417.
13. Cost-efficiency of urban heating strategies – Modelling scale effects of low-energy building heat supply / A. F. Sandvall, E. O. Ahlgren, T. Ekvall // Energy Strategy Reviews. – 2017. – Vol. 18. – P. 212-223. – DOI doi.org/10.1016/j.esr.2017.10.003.
14. Третьякова, П. А. Критерии оценки эффективности системы теплоснабжения / П. А. Третьякова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2023. – № 2(142). – С. 64-68.
15. Чуйкина, А. А. Разработка методики и программы расчёта оптимального маршрута трубопроводной трассы системы теплоснабжения / А. А. Чуйкина, О. А. Сотникова // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2021. – № 4 (232). – С. 46-48.

Авторы публикации

Валиев Радик Нурттинович – доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» Казанского государственного энергетического университета». E-mail: valievkgeu@yandex.ru.

References

1. Sovershenstvovaniye sistemy tsentralizovannogo teplosnabzheniya: analiz i predlozheniya po povysheniyu nadezhnosti / I. G. Akhmetova, A. Y. Sabirzanov, A. R. Nurislamova, D. T. Akhmetov // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. – 2025. – T. 17, № 1(65). – S. 71-79.
2. Influence of the layout of functional zones of cities on the development of heat supply systems / V. N. Mel'kumov, S. N. Kuznetsov, S. G. Tul'skaya, A. A. Chuikina // Russian Journal of Building

- Construction and Architecture. – 2019. – No. 2(42). – P. 85-92. – DOI 10.25987/VSTU.2019.42.2.009.
3. Criteria of Optimality and Condition of the Comparison of Design Solutions of Systems of Heat Supply / V. N. Mel'kumov, K. A. Sklyarov, S. G. Tul'skaya, A. A. Chuikina // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – No. 1(37). – P. 18-28.
4. Loboda, A. V. Proyektirovaniye trass sistem teplosnabzheniya na osnove sistemnogo analiza / A. V. Loboda, A. A. Chuykina // Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. – 2019. – № 3(55). – S. 11-20. – DOI 10.25987/VSTU.2019.55.3.001.
5. Comparing strategies for improving thermal performance of an existing district heating (DH) network: low temperature DH in Omsk, Russia / S. Chicherin, L. Junussova, T. Junussov, C. Junussov // E3s web of conferences, Barcelona, Spain, 23 апреля 2020 года. Vol. 173. – Barcelona, Spain: EDP Sciences, 2020. – P. 03001. – DOI 10.1051/e3sconf/202017303001.
6. Method for assessing heat loss in a district heating network with a focus on the state of insulation and actual demand for useful energy / S. Chicherin, V. Mašatin, A. Siirde, A. Volkova // Energies. – 2020. – Vol. 13, No. 17. – P. en13174505. – DOI 10.3390/en13174505.
7. Chicherin, S. GIS-based optimisation for district heating network planning / S. Chicherin, A. Volkova, E. Latõšov // Energy Procedia : 16, Hamburg, 09–12 сентября 2018 года. – Hamburg, 2018. – P. 635-641. – DOI 10.1016/j.egypro.2018.08.228.
8. District heating networks: enhancement of the efficiency / U. Sarma, U. Sarma, G. Karnitis, J. Zutens, E. Karnitis // Insights into Regional Development. – 2016. – Vol. 1(3). – P. 200-213. – DOI 10.9770/ird.2019.1.3(2).
9. Solving the multi-criteria optimization problem of heat energy transport / V. Melkumov, S. Tul'skaya, A. Chuykina, V. Dubanin // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Vol. 1258. – P. 3-10. – DOI 10.1007/978-3-030-57450-5_1.
10. Novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems / G. Barone, A. Buonomano, A. Palombo, C. Forzano // Energy Conversion and Management. – 2020. – Vol. 220. – P. 113052. – DOI 10.1016/j.enconman.2020.113052.
11. Stennikov, V. A. Optimal planning of heat supply systems in urban areas / V. A. Stennikov, E. E. Iakimetc // Energy. – 2016. – Vol. 110. – P. 157-165. – DOI 10.1016/j.energy.2016.02.060.
12. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating. / Tian, Ye & Zhou, Zhigang & Wang, Zhaojun. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 146. – P. 386-393. – DOI 10.1016/j.proeng.2016.06.417.
13. Cost-efficiency of urban heating strategies – Modelling scale effects of low-energy building heat supply / A.F. Sandvall, E. O. Ahlgren, T. Ekvall // Energy Strategy Reviews. – 2017. – Vol. 18. – P. 212-223. – DOI doi.org/10.1016/j.esr.2017.10.003.
14. Tret'yakova, P. A. Kriterii otsenki effektivnosti sistemy teplosnabzheniya / P. A. Tret'yakova // Energobezopasnost' i vodopodgotovka. – 2023. – № 2(142). – S. 64-68.
15. Chuykina, A. A. Razrabotka metodiki i programmy raschota optimal'nogo marshruta truboprovodnoy trassy sistemy teplosnabzheniya / A. A. Chuykina, O. A. Sotnikova // Santechnika, Otopleniye, Konditsionirovaniye. – 2021. – № 4 (232). – S. 46-48.

Authors of the publication

Radik N. Valiev – Kazan State Power Engineering University.

Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Получено 25.07.2025 г.

Отредактировано 01.08.2025 г.

Принято 15.08.2025 г.