



УДК 697.4:519.8

**А. С. САЛИЕВА**, ассистент кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела; **Е. С. АРАЛОВ**, ст. преп. кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела; **И. С. КУРАСОВ**, доц. кафедры жилищно-коммунального хозяйства

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84.

Тел.: (473) 207-22-20; эл. почта: vgtu.aralov@yandex.ru

*Ключевые слова:* метод анализа иерархий, система теплоснабжения, модернизация, структура.

---

*В статье рассматривается возможность применения метода анализа иерархий (МАИ) с целью выбора результативного плана модернизации системы теплоснабжения. Предлагаемая концепция, учитывающая комплекс факторов, позволяет структурировать задачу выбора с помощью иерархической модели. Для обеспечения прозрачности и воспроизводимости процесса принятия решений производится расчет веса альтернатив, базирующегося на оценках экспертов.*

---

#### **Введение**

Для безаварийного обеспечения теплом жилых домов, социальных и промышленных объектов необходимо поддерживать системы теплоснабжения в исправном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации. Согласно ежегодным докладам Росстата, регистрируются высокие потери тепла, износ инженерных сетей, рост затрат на обслуживание, также отмечается спад энергоэффективности [1]. Следовательно, мероприятий, проводимых в рамках периодического технического обслуживания, недостаточно. Для достижения наибольшего эффекта необходимо проводить комплекс мероприятий, который направлен не только на обновление технической части системы, но и на повышение качества жизни людей, снижение отрицательного влияния на экологию и обеспечение экономической устойчивости. Модернизация системы теплоснабжения требует учета технических, экономических и социальных факторов, примеры которых приведены на рис. 1 [2–5].



Технические факторы	→ Замена устаревшего оборудования (трубопроводы, насосы, котлы, радиаторы);
	→ Внедрение автоматизированных систем управления;
	→ Установка теплоизоляции для снижения потерь;
Экономические факторы	→ Обновление технологий распределения тепла и контроля параметров.
	→ Стоимость модернизации (замена труб, установка теплосчетчиков, утепление);
	→ Расчёт окупаемости инвестиций;
Социальные факторы	→ Снижение эксплуатационных расходов за счёт энергоэффективности;
	→ Эксплуатационные затраты (ремонты, потери тепла).
	→ Улучшение качества жизни населения за счёт стабильного отопления;
	→ Снижение числа аварий;
	→ Улучшение экологической обстановки;
	→ Равный доступ к теплу всех потребителей;
	→ Климатические условия (средняя температура зимой, длительность отопительного сезона).

Рис. 1. Факторы, влияющие на модернизацию системы теплоснабжения

### Материалы и методы

Авторами предлагается осуществить модернизацию системы теплоснабжения при помощи метода анализа иерархий (МАИ), разработчиком которого является Томас Саати. Смысл данного метода заключается в математической обработке экспертных оценок на основе матричных вычислений и аддитивной свертки критериев. В рамках данного метода существующая задача или проблема представляется в виде иерархии, где верхний уровень – это заданная цель, нижний – альтернативы, промежуточный – критерии оценки данных альтернатив [6, 7]. Метод анализа иерархий позволяет принимать обоснованное решение на основе количественных и качественных факторов, учитывает мнение нескольких экспертов и ряд основополагающих критериев, а также создает необходимую структуру целей, критериев и альтернатив.

### Результаты исследования

Используя метод анализа иерархий при модернизации системы теплоснабжения, возможно выбрать оптимальную стратегию, которая будет отвечать техническим требованиям, обеспечивать безопасность и безаварийность, а также снижать эксплуатационные расходы и сокращать риски неэффективных вложений. Внедрение метода анализа иерархий осуществляется в несколько этапов, которые можно представить в виде блок-схемы (рис. 2).

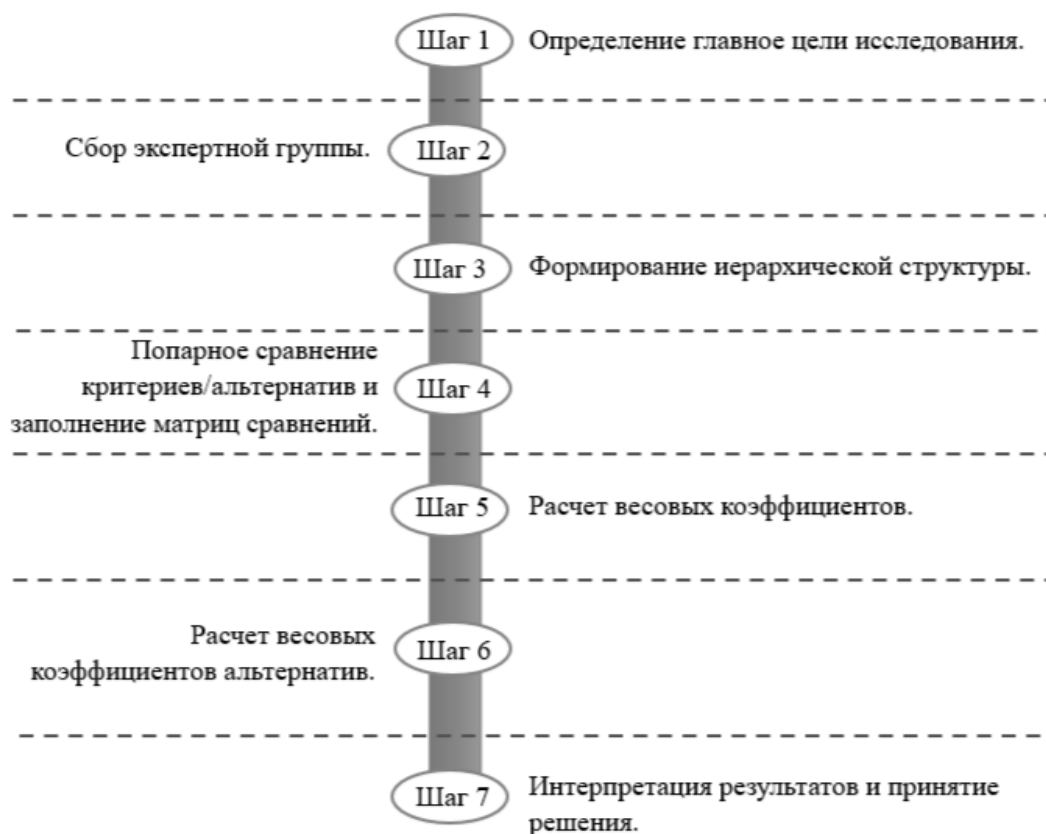


Рис. 2. Шаги внедрения метода анализа иерархий в процесс модернизации системы теплоснабжения

Полагаясь на вышеупомянутую блок-схему, произведем детальный разбор каждого шага внедрения.

Шаг 1. Определение главной цели исследования. Данный шаг является основополагающим, так как от корректной формулировки цели будет зависеть качество дальнейшего исследовательского процесса. В рамках данной работы установлена цель – оптимальная модернизация системы теплоснабжения.

Шаг 2. Сбор экспертной группы. При применении метода анализа иерархий важно привлекать независимых экспертов из различных областей, поскольку модернизация системы теплоснабжения – это не только про инженерные технологии, но и про экологию, экономику, комфорт граждан, законодательство и иные аспекты. Исходя из поставленной цели, в состав экспертной группы могут быть включены следующие категории экспертов, которые представлены на рис. 3.



Рис. 3. Предполагаемые категории экспертов, вовлеченных в процесс модернизации системы теплоснабжения при применении метода анализа иерархий

Шаг 3. Формирование иерархической структуры. Данный шаг является стратегическим этапом, поскольку оказывает существенное влияние на все дальнейшие этапы анализа в рамках метода анализа иерархий. Иерархическая структура представляет собой совокупность таких важных элементов, как: цель, альтернативы и критерии оценки данных альтернатив. Полагаясь на поставленную цель, иерархическая структура может быть представлена в следующем виде и смысловом наполнении, приведенном на рис. 4.

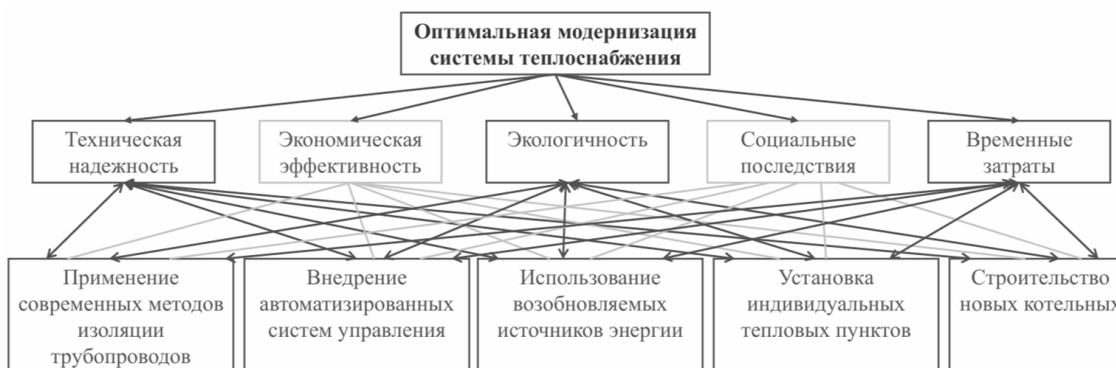


Рис. 4. Иерархическая структура модернизации системы теплоснабжения при применении метода анализа иерархий

Согласно предложенной иерархии, выделено несколько возможных вариантов модернизации системы теплоснабжения. Рассмотрим подробно каждую из приведенных альтернатив.

1) Применение современных методов изоляции трубопроводов. Показатели таких важных критериев, как энергоэффективность, тепловые потери, безопасность эксплуатации и срок службы трубопроводов напрямую зависят от применяемых методов изоляции. В настоящее время среди эффективных теплоизоляционных материалов выделяют: минеральную вату, пенополиуретан (ППУ), пенобетон и вспененный полиэтилен (ЭПП) [8, 9]. Безусловно, выбор теплоизоляционного материала зависит от многих факторов, например,



географической местности, диаметра трубопровода, температурных пределов, условий эксплуатации и других, поэтому необходимо привлекать квалифицированный персонал для подбора надлежащего материала и метода изоляции.

2) Внедрение автоматизированных систем управления. Установка автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) позволяет повысить эффективность, надежность, оптимизировать подачу тепла, снизить потери и достичь экологичности работы всей системы. К функциональным возможностям АСУТП можно отнести: регулировку подачи тепла, мониторинг состояния оборудования, диспетчеризацию, обработку аварийных сигналов, отчетность и анализ [10–12].

3) Использование возобновляемых источников энергии. Интеграция в существующую систему теплоснабжения солнечных коллекторов, тепловых насосов, геотермальных установок, а также отопление биомассой и ветряное отопление, позволяет сократить количество выбросов CO<sub>2</sub> и других парниковых газов, обеспечить энергетическую независимость и устойчивость к изменению климата, снизить затраты на эксплуатацию в долгосрочной перспективе [13, 14].

4) Установка индивидуальных тепловых пунктов (ИТП). Данная модернизация позволяет собственникам самостоятельно осуществлять сезонное и суточное регулирование подачи тепла, что приводит к повышению комфорта, экономии энергии и средств, а также возможной интеграции с возобновляемыми источниками энергии.

5) Строительство новых котельных. При строительстве новых котельных предоставляется возможность распределить нагрузку между несколькими источниками, снизить давление на магистральные трубопроводы, а также установить новое оборудование, которое относительно предыдущего будет иметь высокий КПД и низкие выбросы загрязняющих веществ [15].

В предложенной иерархической структуре модернизации учитываются следующие критерии:

– Техническая надежность. Данный критерий характеризует долговечность, безаварийность и безопасность системы теплоснабжения. При оценке системы по данному критерию учитываются такие показатели, как: прогнозируемый срок службы системы, частота аварий, качество используемых материалов и технологий, а также сочетание с иной существующей инфраструктурой.

– Экономическая эффективность. Данный критерий характеризует затраты и доходы от реализации каждого из рассматриваемых вариантов модернизации системы теплоснабжения. При оценке системы теплоснабжения по данному критерию необходимо учитывать: эксплуатационные расходы, сумму инвестиций, срок окупаемости проекта и величину экономии на энергетических ресурсах.

– Экологичность. Данный критерий учитывает степень воздействия каждой конкретной системы теплоснабжения на окружающую среду. Оценивая систему по рассматриваемому показателю, необходимо принимать во внимание объем вредных выбросов (оксид азота, диоксид серы, оксид углерода, твердые частицы) в окружающую среду, использование возобновляемых источников энергии и соответствие системы теплоснабжения экологическим нормам и стандартам в целом.

– Социальные последствия. По рассматриваемому критерию определяют влияние проекта модернизации системы теплоснабжения на комфорт и



удовлетворенность населения, уровень шума и вибраций, обеспечение теплом, изменение условий труда и проживания.

– Временные затраты. Характеризуя модернизацию системы теплоснабжения по данному критерию, учитывают продолжительность реализации проекта. И принимают во внимания такой фактор, как продолжительность строительно-монтажных работ.

Шаг 4. Парное сравнение критериев/альтернатив и заполнение матриц сравнений. На данном этапе необходимо сравнить элементы критериев и альтернатив по парам между собой. Сравнение проводят по шкале Саати, позволяющей выразить субъективные оценки независимых экспертов в количественной интерпретации. Шкала содержит значения в диапазоне от 1 до 9. Выбранное число указывает на определенную степень значимости одного элемента относительно другого по мнению эксперта [6, 15]. Заполнение матрицы сравнения производят по формуле 1:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  – отношение критерия (альтернативы)  $i$  к критерию (альтернативе)  $j$ . Необходимо учитывать, что  $a_{ii} = 1$ .

На основе изученной литературы возможно предложить следующее парное сравнение критериев (табл. 1).

Таблица 1

**Парное сравнение критериев (матрица сравнения)**

Критерии	Техническая надежность	Экономическая эффективность	Экологичность	Социальные последствия	Временные затраты
Техническая надежность	1	3	5	7	9
Экономическая эффективность	1/3	1	3	5	7
Экологичность	1/5	1/3	1	3	5
Социальные последствия	1/7	1/5	1/3	1	3
Временные затраты	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Исходя из табл. 1, можно сделать некоторые выводы, например: техническая надежность имеет некое преобладание значимости относительно экономической эффективности, экологичность существенно или сильно значима относительно временных затрат. Далее, полагаясь на указанные степени значимости, экспертам необходимо составить аналогичные матрицы сравнения для всех альтернатив по каждому критерию.

Шаг 5. Расчет весовых коэффициентов. Данный шаг включает себя несколько важных этапов, таких как: нормализация матрицы, определение веса критериев и проверка согласованности [6, 15–17]. В условиях полного расчета



необходимо данный шаг выполнить как для матрицы критериев, так и для матриц всех альтернатив (табл. 2).

Нормализация элементов каждого столбца матрицы – это способ получения приближенных значений приоритетов. Нормализацию матрицы и определение веса критерия проводят по формулам 2 и 3 соответственно:

$$A_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j}, \quad (2)$$

где  $S_j$  – сумма элементов каждого столбца матрицы.

$$V = \frac{S_i}{n}, \quad (3)$$

где  $S_i$  – сумма элементов каждой строки матрицы после нормализации,  $n$  – количество критериев.

Таблица 2

**Нормализованная матрица критериев. Определение веса критериев**

$a_{ij}$	Техническая надежность	Экономическая эффективность	Экологичность	Социальные последствия	Временные затраты	
Техническая надежность	1	3	5	7	9	
Экономическая эффективность	1/3	1	3	5	7	
Экологичность	1/5	1/3	1	3	5	
Социальные последствия	1/7	1/5	1/3	1	3	
Временные затраты	1/9	1/7	1/5	1/3	1	
<b><math>S_j</math></b>	<b>1,787</b>	<b>4,676</b>	<b>9,533</b>	<b>16,333</b>	<b>25</b>	
$A_{ij}$	Техническая надежность	Экономическая эффективность	Экологичность	Социальные последствия	Временные затраты	Вес критерия
Техническая надежность	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
Экономическая эффективность	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
Экологичность	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
Социальные последствия	0,079	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
Временные затраты	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

Полученные веса отражают заданные приоритеты и могут быть использованы для дальнейшей оценки альтернатив. Исходя из табл. 2, можно сделать вывод, что техническая надежность является приоритетным критерием и обладает весом в 50,3 %, а критерий – временные затраты имеет вес 3,5 %.



Проверка согласованности экспертных оценок осуществляется через отношение согласованности (4). Матрица считается согласованной, если выполняется условие:  $C.R \leq 0,1$  [16]:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I}, \quad (4)$$

где  $C.I$  – индекс согласованности матрицы парных сравнений;  $R.I$  – случайный индекс согласованности, который зависит от порядка матрицы суждений  $n$ .

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (5)$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимальное собственное число матрицы, определяемое по формуле:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum (A \cdot W)_i}{\sum W_i}, \quad (6)$$

где  $W$  – собственный вектор,  $A \cdot W$  – произведение исходной матрицы на собственный вектор.

Для рассматриваемой матрицы собственный вектор:  $W = [0,503; 0,260; 0,134; 0,068; 0,035]$ . Максимальное собственное число рассматриваемой матрицы по формуле 6:

$$\lambda_{\max} = \frac{2,744 + 1,415 + 0,7 + 0,342 + 0,177}{1} = 5,438$$

Доказано, что матрица  $A$  является абсолютно согласованной тогда и только тогда, когда  $\lambda_{\max} = n$ , и что при отклонении от идеальной согласованности  $\lambda_{\max} > n$  [16].

Индекс согласованности рассматриваемой матрицы парных сравнений для порядка матрицы суждений  $n=5$ , определим по формуле 5:

$$C.I = \frac{5,438 - 5}{5 - 1} = 0,1095$$

Согласованность рассматриваемой матрицы для случайного индекса согласованности  $R.I = 1,11$  [16], определим по формуле 4:

$$C.R = \frac{0,1095}{1,11} = 0,0986 < 0,1$$

Условие согласованности для рассматриваемой матрицы выполнено.

Шаг 6. Расчет весовых коэффициентов альтернатив. На данном этапе необходимы выполнить все описанные действия в шаге 5 для всех предложенных альтернатив.

Шаг 7. Интерпретация результатов и принятие решения. Данный этап является ключевым для метода анализа иерархий. На основе полученных результатов возможно принять решение по модернизации системы теплоснабжения.

### Выводы

Метод анализа иерархий может быть интегрирован в сложные процессы, требующие учета множества критериев и субъективных оценок специалистов из различных областей. Полагаясь на проведенный анализ, можно выделить положительные аспекты данного метода: структурирование сложных задач,



количественная оценка субъективных мнений и проверка согласованности. Также при применении данного метода возможны следующие трудности: зависимость от субъективных оценок, сложность при большом количестве критериев и количественное ограничение шкалы Саати.

Применяя метод анализа иерархии для модернизации системы теплоснабжения, возможно оценить варианты модернизации системы, при этом учитывая технические, экономические и социальные аспекты, обосновать выбор стратегии для заинтересованных сторон, а также сократить риски неэффективных вложений за счет структурированного анализа.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сведения о снабжении теплоэнергией по субъектам Российской Федерации в 2020–2024 гг. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: [https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye\\_usloviya](https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya) (дата обращения: 10.06.2025).

2. Посашков, М. В. Энергосбережение в системах теплоснабжения : учебное пособие для СПО / М. В. Посашков, В. И. Немченко, Г. И. Титов. – Саратов : Профобразование, 2021. – 149 с. – ISBN 978-5-4488-1272-9. – Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование. – URL: <https://profspo.ru/books/106872> (дата обращения: 15.06.2025).

3. Берген, Д. Н. Альтернативные варианты модернизации региональных систем теплоснабжения: эколого-экономические аспекты / Д. Н. Берген // Известия Байкальского государственного университета. – 2021. – Т. 31, № 3. – С. 407–415.

4. Кузина, Е. В. Проблема модернизации в жилищно-коммунальном хозяйстве и способы ее решения / Е. В. Кузина // Вестник науки. – 2023. – Т. 1, № 12 (69). – С. 761–765.

5. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года : распоряжение Правительства РФ от 31.10.2022 № 3268-р [редакция от 23 октября 2025 года]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.

6. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с. – ISBN 5-256-00443-3.

7. Шагеев, Д. А. Методы принятия управленческих решений и методы исследования в менеджменте : учебник / Д. А. Шагеев. – Москва : КноРус, 2025. – 302 с. – ISBN 978-5-406-13888-5.

8. Жовнер, В. В. Теплоизоляционные материалы, характеристики, свойства, преимущества и недостатки / В. В. Жовнер, Н. В. Журавлева // Вестник магистратуры. – 2020. – № 2-3 (101). – С. 17–19.

9. Булова, А. В. Сравнительный анализ теплоизоляции систем теплоснабжения / А. В. Булова, В. В. Нечупаев, А. Е. Протасова [и др.] // Актуальные вопросы энергетики : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 17 мая 2018 г. – Омск : Омский государственный технический университет, 2018. – С. 173–178.

10. Применение современных средств автоматизации в системах теплоснабжения / А. С. Корепанов, А. М. Ниязов, Е. В. Дресвянникова, И. А. Шелемов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3 (63). – С. 63–67.

11. Варганова, А. М. Повышение эффективности систем теплоснабжения / А. М. Варганова, И. А. Закирова // Энергетика в условиях цифровой трансформации. Наука. Технологии. Инновации : сборник материалов Международной научно-



практической конференции, Волжский, 20–24 декабря 2021 года. – Волжский : Волжский филиал НИУ «МЭИ», 2022. – С. 128–133. – EDN SVBDEE.

12. Долженко, Е. Н. Разработка метода автоматизированного обучения нейронной сети для сортировки данных систем теплоснабжения / Е. Н. Долженко, А. М. Петров, А. Н. Попов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 12. – С. 463–470.

13. Цзяминь, С. Перспективы использования возобновляемых источников энергии для систем теплоснабжения / С. Цзяминь, Н. С. Пономарев, В. М. Уляшева // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы Международного научного семинара / под ред. В. Г. Новосельцева, П. В. Северянина ; Министерство энергетики Республики Беларусь [и др.]. – Брест : Брестоблгаз, 2024. – С. 76–81.

14. Мартыненко, Г. Н. Возможность использования солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения / Г. Н. Мартыненко, А. С. Волох // Комплексные проблемы техносферной безопасности : материалы VII Международной научно-практической конференции, Воронеж, 24–25 февраля 2022 года. В 2-х частях / отв. ред. И. Г. Дроздов. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2022. – Ч. I. – С. 332–337.

15. Орлов, М. Е. Причины неэкономичной работы и пути повышения энергоэффективности систем теплоснабжения / М. Е. Орлов, А. Ф. Кадырова // Энергоэффективные технологии в строительстве, энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве : сборник трудов I научно-технической конференции студентов и аспирантов с международным участием, Ульяновск, 1 июня 2021 года. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2021. – С. 145–152. – EDN OPYYON.

16. Саати, Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Т. Л. Саати. – Москва : ЛКИ, 2008. – 360 с. – ISBN 978-5-382-00422-8.

17. Шевченко, Д. В. Метод анализа иерархий : материалы лекции / Д. В. Шевченко. – URL: [www.ieml-math.narod.ru/lect/MPUR\\_MAI.pdf](http://www.ieml-math.narod.ru/lect/MPUR_MAI.pdf) (дата обращения: 28.06.2025). – Текст : электронный.

**SALIEVA Anastasia Sergeevna, assistant of the chair of heat and gas supply and oil and gas engineering; ARALOV Egor Sergeevich, senior teacher at the chair of heat and gas supply and oil and gas engineering; KURASOV Ilya Sergeevich, associate professor at the chair of housing and communal services**

## **APPLICATION OF THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD FOR PLANNING THE MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEMS**

Voronezh State Technical University.

84, 20 letiya Oktyabrya St., Voronezh, 394006, Russia.

Tel.: (473) 207-22-20; e-mail: [vgtu.aralov@yandex.ru](mailto:vgtu.aralov@yandex.ru)

*Key words:* hierarchy process analysis, heat supply system, modernization, structure.

---

*The article considers the possibility of using the analytic hierarchy process (AHP) to select an effective plan for modernizing a heat supply system. The proposed concept, which takes into account a set of factors, allows structuring the selection task using a hierarchical model. To ensure transparency and reproducibility of the decision-making process, the weight of alternatives is calculated based on expert assessments.*

---

## REFERENCES

1. Svedeniya o snabzhenii teploenergii po subektam Rossiyskoy Federatsii v 2020–2024 gg. [Information on heat energy supply by constituent entities of the Russian



Federation in 2020–2024]. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. URL: [https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye\\_usloviya](https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya) (accessed: 10.06.2025).

2. Posashkov M. V., Nemchenko V. I., Titov G. I. Energoberezhenie v sistemakh teplosnabzheniya [Energy saving in heat supply systems]: uchebnoe posobie dlya SPO. Saratov, Profobrazovanie, 2021, 149 p. ISBN 978-5-4488-1272-9. Elektronnyy resurs tsifrovoy obrazovatelnoy sredy SPO PROFobrazovanie. URL: <https://profspo.ru/books/106872> (accessed: 15.06.2025).

3. Bergen D. N. Alternativnye varianty modernizatsii regionalnykh sistem teplosnabzheniya: ekologo-ekonomicheskie aspekty [Alternative options for modernization of regional heat supply systems: ecological and economic aspects]. Izvestiya Baykalskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Baikal State University], 2021, Vol. 31, № 3, P. 407–415.

4. Kuzina E. V. Problema modernizatsii v zhilishchno-kommunalnom khozyaystve i sposoby ee resheniya [The problem of modernization in housing and communal services and ways to solve it]. Vestnik nauki [Bulletin of Science], 2023, Vol. 1, № 12 (69), P. 761–765.

5. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya stroitelnoy otrasli i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda s prognozom do 2035 goda [Russian Federation. Government. On approval of the Development Strategy for the Construction Industry and Housing and Communal Services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035]: rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 31.10.2022 № 3268-r [redaktsiya ot 23 oktyabrya 2025 goda]. URL: <http://www.consultant.ru>.

6. Saaty T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy [Decision making. The Analytic Hierarchy Process]. per. s angl. R. G. Vachnadze. Moscow, Radio i svyaz, 1993, 278 p. ISBN 5-256-00443-3.

7. Shageev D. A. Metody prinyatiya upravlencheskikh resheniy i metody issledovaniya v menedzhmente [Methods of managerial decision-making and research methods in management]: uchebnyk. Moscow, KnoRus, 2025, 302 p. ISBN 978-5-406-13888-5.

8. Zhovner V. V., Zhuravleva N. V. Teploizolyatsionnye materialy, kharakteristiki, svoystva, preimushchestva i nedostatki [Thermal insulation materials, characteristics, properties, advantages and disadvantages]. Vestnik magistratury [Master's Journal], 2020, № 2-3 (101), P. 17–19.

9. Bulova A. V., Nechupaev V. V., Protasova A. E., et al. Sravnitelnyy analiz teploizolyatsii sistem teplosnabzheniya [Comparative analysis of thermal insulation of heat supply systems]. Aktualnye voprosy energetiki: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Current Issues of Energy] : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Omsk, 17 maya 2018 g. Omsk, Omskiy gosudarstvenny tekhnicheskii universitet, 2018, P. 173–178.

10. Korepanov A. S., Niyazov A. M., Dresvyannikova E. V., Shelemov I. A. Primenenie sovremennykh sredstv avtomatizatsii v sistemakh teplosnabzheniya [Application of modern automation tools in heat supply systems]. Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy], 2020, № 3 (63), P. 63–67.

11. Varganova A. M., Zakirova I. A. Povyshenie effektivnosti sistem teplosnabzheniya [Increasing the efficiency of heat supply systems]. Energetika v usloviyakh tsifrovoy transformatsii. Nauka. Tekhnologii. Innovatsii [Energy in the Context of Digital Transformation. Science. Technology. Innovation]: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Volzhskiy, 20–24 dekabrya 2021 goda. Volzhskiy, Volzhskiy filial NIU "MEI", 2022, P. 128–133. EDN SVBDEE.

12. Dolzhenko E. N., Petrov A. M., Popov A. N. Razrabotka metoda avtomatizirovannogo obucheniya neyronnoy seti dlya sortirovki dannykh sistem teplosnabzheniya [Development of a



method for automated training of a neural network for sorting data from heat supply systems]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region], 2023, № 12, P. 463–470.

13. Tszyamin S., Ponomarev N. S., Ulyasheva V. M. Perspektivy ispolzovaniya vozobnovlyаемых источников энергии для систем теплоснабжения [Prospects for the use of renewable energy sources for heat supply systems]. *Problemy energeticheskoy effektivnosti v razlichnykh otraslyakh: materialy Mezhdunarodnogo nauchnogo seminar* [Problems of Energy Efficiency in Various Industries: proceedings of the International Scientific Seminar]. pod red. V. G. Novoseltseva, P. V. Severyanina; Ministerstvo energetiki Respubliki Belarus [et al.]. Brest, Brestoblgaz, 2024, P. 76–81.

14. Martynenko G. N., Volokh A. S. Vozmozhnost ispolzovaniya solnechnoy energii dlya otopleniya i goryachego vodosnabzheniya [Possibility of using solar energy for heating and hot water supply]. *Kompleksnyye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti* [Complex Problems of Technosphere Safety]: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh. otv. red. I. G. Drozdov. Voronezh, Voronezhskiy gosudarstvenny tekhnicheskiy universitet, 2022, Part I, P. 332–337.

15. Orlov M. E., Kadyrova A. F. Prichiny neekonomichnoy raboty i puti povysheniya energoeffektivnosti sistem teplosnabzheniya [Causes of uneconomical operation and ways to improve energy efficiency of heat supply systems]. *Energoeffektivnyye tekhnologii v stroitelstve, energetike i zhilishchno-kommunalnom khozyaystve* [Energy-Efficient Technologies in Construction, Energy and Housing and Communal Services]: sbornik trudov I nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov s mezhdunarodnym uchastiem. Ulyanovsk, 1 iyunya 2021 goda. Ulyanovsk, Ulyanovskiy gosudarstvenny tekhnicheskiy universitet, 2021, P. 145–152. EDN OPYYON.

16. Saaty T. L. Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh. *Analiticheskie seti* [Decision making with dependencies and feedbacks. Analytic networks]. Moscow, LKI, 2008, 360 p. ISBN 978-5-382-00422-8.

17. Shevchenko D. V. Metod analiza ierarkhiy [The Analytic Hierarchy Process]: materialy lektzii. URL: [www.ieml-math.narod.ru/lect/MPUR\\_MAI.pdf](http://www.ieml-math.narod.ru/lect/MPUR_MAI.pdf) (accessed: 28.06.2025).

**© А. С. Салиева, Е. С. Аралов, И. С. Курасов, 2026**

Получено: 14.10.2025 г.