



Isitish tizimidagi issiqlik energiyasini optimal uzatish uchun issiqlik tarmog'ini ratsionalizatsiya qilish

Feruza A. Xashimova¹, Mexriya A. Koroli^{1,a)}, Anvar I. Anarbayev^{1,b)}

¹ DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; anizan6004@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4643-3277>

^{1,a)} PhD, dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; mkoroly@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4113-0923>

^{1,b)} Assistent., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; feruzahasimova527@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-7530-229X>

Dolzarbli: samarali issiqlik ta'minoti radiuslarini hisoblashning innovatsion usuli samarali issiqlik ta'minoti zonalarini texnik-iqtisodiy asoslash imkonini beradi. Metodologiya issiqlik energiyasi va kapital xarajatlarni aniqlash uchun hisob-kitoblarga asoslanadi. Ushbu metodologiya hisob-kitoblarda empirik munosabatlardan foydalanishni minimallashtiradi va samarali issiqlik ta'minoti radiusining raqamli qiymatini aniqlash imkonini beradi. Natijalar sinovdan o'tkazildi va metodologiya aholi punktlarini issiqlik bilan ta'minlash sxemalarini ishlab chiqishda qo'llanilishi mumkin.

Maqsad: hisoblarda empirik bog'liqliklardan foydalanishni minimallashtiradigan va samarali issiqlik ta'minoti radiusining raqamli qiymatini topadigan metodologiyani ishlab chiqish.

Usullari: samarali issiqlik ta'minoti radiuslarini aniqlash uchun analitik usul qo'llaniladi. Hisoblash algoritmi issiqlik tarmoqlariga kapital xarajatlarni va iste'molchilarning issiqlik yuki qiymatlarini bog'laydigan integral tenglama tahliliga asoslangan.

Natijalar: samarali issiqlik ta'minoti zonasini iqtisodiy asoslash uchun ratsional radiuslarni hisoblash usuli uchun juda oddiy va aniq formulalar olingan.

Kalit so'zlar: issiqlik ta'minoti sxemasi; samarali issiqlik ta'minoti radiusi; issiqlik energiyasining narxi; kapital xarajatlar; mustaqil va bog'liq issiqlik tarmog'i xarajatlari.

For citation: Khashimova F.A., Koroli M.A., Anarbaev A.I. Rationalization of the heating network for optimal transfer of thermal energy in the heating system. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 284-290.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18616923>

Received: 03.04.2025

Revised: 17.04.2025

Accepted: 09.07.2025

Published: 27.12.2025

Copyright: © Feruza A. Khashimova, Mehriya A. Koroli, Khayrulla S. Isakhodjaev, Anvar I. Anarbaev 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Рационализация теплосети для оптимальной передачи тепловой энергии в системе теплоснабжения

Феруза А. Хашимова¹, Мехрия А. Короли^{1,a)}, Анвар И. Анарбаев^{1,b)}

¹ DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; anizan6004@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4643-3277>

^{1,a)} PhD, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; mkoroly@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4113-0923>

^{1,b)} ассистент., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; feruzahasimova527@gmail.com; [ORCID 0009-0003-7530-229X](https://orcid.org/0009-0003-7530-229X)

Актуальность: инновационная методика расчета радиусов оптимального теплоснабжения позволяет технически и экономически обосновывать зоны эффективного теплоснабжения. В основе методики лежат расчеты по определению себестоимости тепловой энергии и капитальных затрат. При использовании методики минимизируется использование эмпирических зависимостей в расчетах и находится численное значение радиуса эффективного теплоснабжения. Результаты апробированы, методика может использоваться при разработке схем теплоснабжения населенных пунктов.

Цель: разработка методики, в которой минимизируется использование эмпирических зависимостей в расчетах и находится численное значение радиуса эффективного теплоснабжения.

Методы: используется аналитический метод определения радиусов эффективного теплоснабжения. Алгоритм расчета основан на анализе интегрального уравнения, связывающего капитальные затраты на теплоты и величины тепловой нагрузки потребителей.

Результаты: получены достаточно простые точные формулы методики расчета рациональных радиусов для экономического обоснования зоны эффективного теплоснабжения.

Ключевые слова: схема теплоснабжения; радиус эффективного теплоснабжения; себестоимость тепловой энергии; капитальные затраты; независимые и зависимые теплосетевые затраты.



Rationalization of the heating network for optimal transfer of thermal energy in the heating system

Feruza A. Khashimova¹, Mehriya A. Koroli^{1,a)}, Anvar I. Anarbaev^{1,b)}

¹ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; anizan6004@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4643-3277>

^{1,a)} PhD., prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; mkoroly@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4113-0923>

^{1,b)} Assistant., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; feruzahasimova527@gmail.com; [ORCID 0009-0003-7530-229X](https://orcid.org/0009-0003-7530-229X)

Relevance: an innovative method for calculating optimal heat supply radii allows for the technical and economic justification of efficient heat supply zones. The method is based on calculations to determine the cost of thermal energy and capital expenditures. This method minimizes the use of empirical relationships in calculations and allows for the determination of a numerical value for the effective heat supply radius. The results have been validated, and the method can be used in developing heat supply schemes for populated areas.

Aim: development of a methodology that minimizes the use of empirical dependencies in calculations and finds the numerical value of the radius of effective heat supply.

Methods: analytical method is used to determine the radii of efficient heat supply. The calculation algorithm is based on an analysis of the integral equation linking capital expenditures on heat networks and the heat load values of consumers.

Results: fairly simple and precise formulas for the method of calculating rational radii for the economic justification of the zone of efficient heat supply have been obtained.

Keywords: heat supply scheme; radius of effective heat supply; cost of thermal energy; capital expenditures; independent and dependent heat network costs.

1. Введение (Introduction)

В настоящее время отмечен приоритет использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации и развития систем централизованного теплоснабжения, направленный на повышение его энергетической эффективности [1].

Сравнительный анализ затрат на топливо показывает, что его удельные затраты в котельных существенно выше по сравнению с теплоэлектроцентралями: соответственно 169,9 и 153,6 кг у.т./Гкал [2]. Доля топлива в эксплуатационных затратах наиболее массовых газифицированных источников тепловой энергии подтверждают этот вывод: 51% и 36% [3].

При всем том закон требует соблюдения баланса экономических интересов теплоснабжающих организаций и потребителей. Отсюда возникает вопрос о технической возможности и экономической целесообразности подключения абонентов к существующим источникам теплоснабжения согласно схемам теплоснабжения поселений или необходимости строительства новых источников. Решение этого вопроса выполняется расчетом радиуса эффективного теплоснабжения (РЭТ) - максимального расстояния от теплотребляющей установки до ближайшего источника тепловой энергии в системе теплоснабжения, при превышении которого подключение (технологическое присоединение) теплотребляющей установки к данной системе теплоснабжения нецелесообразно по причине увеличения совокупных расходов в системе теплоснабжения [4].

Согласно методике Папушкина [4] расчет РЭТ проводится методом последовательных приближений до тех пор, пока совокупные затраты при развитии системы теплоснабжения на базе существующего источника тепловой энергии не превысят совокупные затраты при развитии системы теплоснабжения на базе строительства новой котельной [5]. Таким образом, полученное значение РЭТ принимается в качестве значения эффективного радиуса для текущего значения присоединенной нагрузки, если объекты новой застройки подключены непосредственно к коллектору источника. В случае если объекты новой застройки подключались к тепловой камере на существующей тепловой сети, эффективный радиус равен сумме расстояний от источника до тепловой камеры и полученного значения.

Известен подход [6] к расчету РЭТ по следующим показателям: гидравлический режим работы систем теплоснабжения, тепловые потери через конструкции тепловой изоляции трубопроводов и с утечками, экономическая целесообразность теплоснабжения потребителей.

Расчет РЭТ по 1-ому показателю сводится к получению пьезометрического графика, согласно которому оценивается целесообразность подключения новых потребителей; по 2-ому показателю - к определению критерия, который является отношением фактических к нормируемым тепловым потерям, который должен быть превышать значение 1,2 [7]. Расчет по 3-му критерию сводится к определению рентабельности теплоснабжения потребителей, которая рассчитывается как отношение годовой прибыли от теплоснабжения к годовой выручке от реа-



лизации тепловой энергии, которая должна быть не ниже 12%.

Нормативные методические основы расчета определяют Методические указания по разработке схем теплоснабжения [8]. Определяющим фактором при этом должна быть стоимость тепловой энергии в виде горячей воды, рассчитываемая по совокупной стоимости единицы тепловой энергии (мощности) в горячей воде и удельной стоимости оказываемых услуг по передаче единицы тепловой энергии в горячей воде.

Целесообразность присоединения к централизованной системе теплоснабжения может быть оценена по методу «альтернативной котельной» на основании расчета стоимости тепловой энергии (мощности) [9].

В итоге, в утвержденную методику расчета РЭТ вошли: срок окупаемости капитальных затрат в строительство тепловой сети, в которую включены конструктивные параметры тепловой сети, который не должен превышать полезный срок службы тепловой сети [10].

Помимо этих параметров предлагаемая методика учитывает плату за подключение к существующей тепловой сети и индекс совокупного платежа граждан за коммунальные услуги, а также рост цен на топливо. Также в утвержденную методику вошли формулы из расчета рентабельности системы теплоснабжения и оценка РЭТ по пьезометрическому графику [11].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Для определения технически и экономического оправданного РЭТ производится расчет 3 критериев [12]:

1. Радиус эффективного теплоснабжения по условиям сопоставимости себестоимости R_1 ;
2. Радиус эффективного теплоснабжения по условиям сопоставимости капитальных затрат R_2 ;
3. Результирующий радиус эффективного теплоснабжения R_3 .

После расчета всех представленных показателей следуют анализы результатов расчета, которые выполняются по алгоритму, представленному на рис.2. Данный алгоритм позволяет в конечном итоге определять наиболее эффективный источник теплоснабжения.

Следует отметить, что сравнительный метод позволяет не только определять перспективные источники теплоснабжения для новой застройки, но и решать иные задачи, связанные с изменением зон действия теплоисточников [13], например:

1. Техничко-экономическое обоснование задач с изменением зон действия существующих источников тепловой энергии (расширение и разукрупнение зон);
2. Техничко-экономическое обоснование приоритетности расширения зоны действия изолированной системы теплоснабжения (объединение 2 и более систем теплоснабжения).

Эта методика позволяет учесть все возможные параметры тепловой сети между источником и потребителем тепловой энергии, что делает расчет РЭТ достаточно трудоемким процессом ввиду того, что требуется собрать огромную базу данных по рассматриваемому источнику теплоснабжения [14]. При этом разница между приближениями составляет 10 метров, что приводит к долгим и кропотливым расчетам.

Согласно предложенной методике для расчета радиуса эффективного теплоснабжения должна применяться следующая формула:

$$R_{\text{эф.т}} = \frac{T - C_{\text{выр}}}{C_{\text{ээ(пер)}}^y + C_{\text{пот(пер)}}^y};$$

где T – годовая часть капиталовложений, $C_{\text{выр}}$ – затраты выработки теплоэнергии на источнике; $C_{\text{ээ(пер)}}^y$ – себестоимость потерь электроэнергии на транспортировку теплоносителя на единицу длины теплосетей; $C_{\text{пот(пер)}}^y$ – себестоимость потерь в теплосети на единицу длины теплосетей.

Согласно этой формуле, радиус складывается из тарифа на тепловую энергию, себестоимости тепловой энергии, удельных затрат на электроэнергию на выработку и передачу тепловой энергии, из потерь теплоносителя и тепловой энергии при ее передаче.

Также в [15] предложено соотношение для расчета радиуса при увеличении присоединенной тепловой нагрузки:

$$R_{\text{эф.т}} = \frac{T - C'_{\text{выр}}}{C'_{\text{ээ(пер)}}^y + C'_{\text{пот(пер)}}^y}.$$

Эта методика, по сравнению с [6] более проста и требует сбора меньшего количества данных, но хотя при этом не учитывает конструктивных параметров рассчитываемой тепловой сети. При всем том расчет РЭТ по данной методике для г. Чирчик оказался достаточно близок к результатам расчетов по методике [6] и на практике полностью соответствовал зоне обслуживания рассматриваемого источника теплоснабжения, что позволяло рассматривать эту методику как основу расчетов искомого параметра.

Методический подход к определению РЭТ учитывает комплекс факторов, оказывающих

непосредственное влияние на его величину [16]. К таким факторам относятся следующие характерные показатели:

- себестоимость тепловой энергии на теплоснабжение потребителей;
- капитальные затраты на строительство новых участков, реконструкцию существующих теплопроводов и строительство подкачивающих насосных станций для обеспечения потребителей тепловой энергией.

В основу методики расчета заложен принцип вычисления себестоимости тепловой энергии для каждой тепловой камеры в границах существующих тепловых сетей [17]. Для проведения расчетов структура себестоимости тепловой энергии разделяется на 2 составляющие:

1. Независимые теплосетевые затраты, которые являются функцией от расстояния между источником и потребителями тепловой энергии [18]. Независимые затраты прямо пропорциональны количеству вырабатываемой теплоэнергии на источнике;

2. Зависимые теплосетевые затраты, которые являются функцией от расстояния между источником и потребителями тепловой энергии [19].

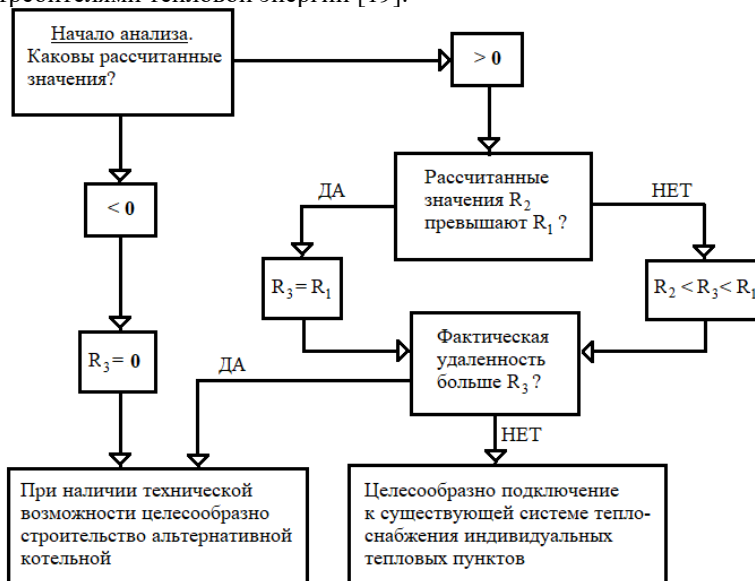


Рис.1. Алгоритм проведения анализа расчета радиуса эффективного теплоснабжения
Fig.1. Algorithm for conducting analysis of calculation of the effective radius of heat supply

В данную категорию входят преимущественно затраты на транспорт тепловой энергии от источника до тепловой камеры [20]. Затраты прямо пропорциональны таким показателям:

- количество передаваемой тепловой энергии;
- протяженность систем транспорта тепловой энергии.

3. Результаты (Results)

На примере г. Чирчика было рассчитано изменение независимых и зависимых затрат на отпуск тепловой энергии потребителям, в зависимости от расстояния тепловой сети от теплоисточника до тепловой камеры. Затраты имеют обратную пропорциональность, что показано на рис.2.

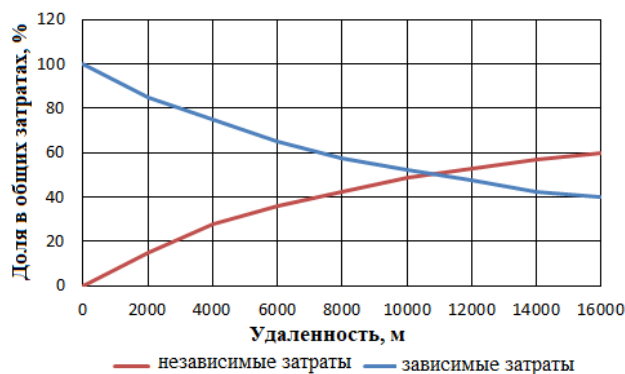


Рис.2. Динамика изменения затрат от протяженности тепловой сети
Fig.2. Dynamics of cost changes depending on the length of the heating network

Как видно из диаграммы, доля независимых затрат в структуре себестоимости тепловой энергии с увеличением расстояния от теплоисточника уменьшается по нелинейной зависимости, для зависимых затрат наблюдается обратная ситуация.

Себестоимость тепловой энергии в каждой тепловой камере сравнивается с себестоимостью тепловой энергии от альтернативного источника теплоснабжения - альтернативной котельной.

Капитальные затраты на обеспечение потребителей тепловой энергией от существующей системы сравниваются с капитальными затратами на обеспечение потребителей тепловой энергией от альтернативной котельной.

4. Обсуждение (Discussion)

На рис.3 представлены зоны эффективного теплоснабжения г.Чирчика по состоянию на 2025 г. Совокупность РЭТ характеризует искомую зону теплоснабжения, которая на рисунке представлена фиолетовым цветом. Разработанный расчетно-графический метод позволяет определять, какие потребители должны подключаться в перспективе к независимой системе теплоснабжения, а какие к альтернативной котельной. Компания Bosch Termotechnik GmbH (Германия) подписала контракт с агентством «Узкомунхизмат» на модернизацию системы теплоснабжения в Чирчике (Ташкентская область).

«В рамках контракта германская компания осуществляется реконструкцию системы теплоснабжения Чирчика путем перевода на закрытую систему теплоснабжения. Bosch Termotechnik осуществит поставку оборудования «под ключ» для модернизации основного и вспомогательного оборудования котельных, обслуживающих 725 домов города.

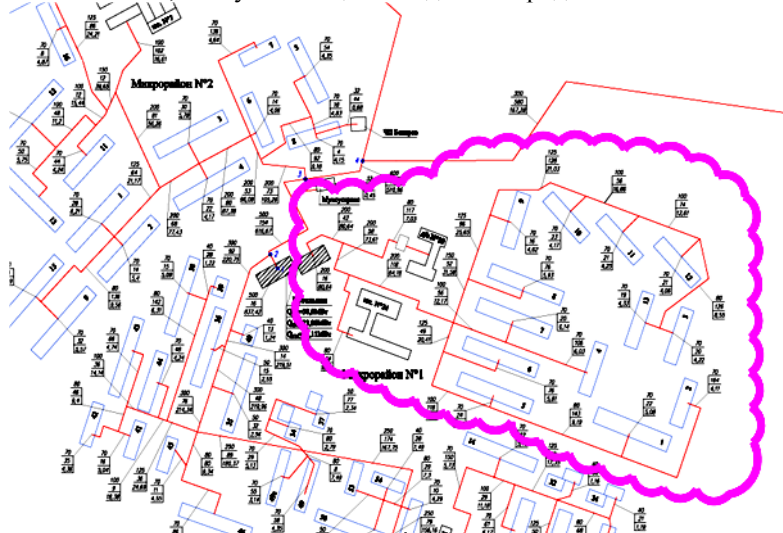


Рис.3. Зона оптимального радиуса теплоснабжения г.Чирчика от котельной
Fig.3. The optimal radius of heat supply to the Chirchik city from the boiler house

Совокупность РЭТ характеризует искомую зону теплоснабжения, которая на рисунке представлена фиолетовым цветом.

5. Заключение (Conclusion)

Разработанный расчетно-графический метод позволяет определять, какие потребители должны подключаться в перспективе к ТЭЦ, а какие к альтернативной котельной.

По результатам анализа полученных значений следует ряд выводов:

- величина РЭТ в значительной степени зависит от величины подключаемой тепловой нагрузки к тепловым сетям;
- по мере удаления тепловых камер от теплоисточника РЭТ снижается в связи с увеличением себестоимости тепловой энергии для рассматриваемой тепловой камеры;
- при расчете РЭТ крайне важно сохранять нейтралитет, т.е. не отдавать предпочтение ни системам теплоснабжения на базе ТЭЦ, ни системам теплоснабжения на базе альтернативной котельной;
- расчеты РЭТ будут иметь смысл лишь в случае низких удельных расходов условного топлива на ТЭЦ по сравнению с альтернативными источниками теплоснабжения.



ЛИТЕРАТУРА

1. Плахута А.Д. Энергосбережение и экономия средств при обоснованном выборе перспективного источника теплоснабжения // Энергобезопасность и энергосбережение. 2015. № 1. С. 25—29.
2. Отчет по проекту “Пилотный демонстрационный проект по внедрению теплотрических систем на объектах теплоснабжения и передачи тепла”. Проект ТАСИС EUZ9802, Ташкент, 2002.
3. Папушкин В.Н., Тасенко Т.Н., Башмаков И.А., Апехтин В.В., Гаврилов С.Н. Система оказания надежных и энергоэффективных коммунальных услуг. ПРООН. М., 2004.
4. Папушкин В.Н. Методика расчета радиуса эффективного теплоснабжения для схем теплоснабжения / В.Н. Папушкин, С.О. Полянцев, А.П. Щербаков, А.А. Храпков // [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1601 (дата обращения 19.06.2020).
5. Зайдлер П., Короли М.А., Миронова О.А. К вопросу эффективности независимых систем отопления. Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук, сб. научных трудов в.1, Ташкент 2002. -65 с.
6. Энергоаудит и нормирование расходов энергоресурсов. /Сборник методических материалов. НИЦЭ. Нижний Новгород. 1998. -64 с.
7. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий. Пособие. RB.00.H8.50. М.: «Данфосс», 2014. -63 с.
8. Короли М.А., Хошимова Ф.А., Анарбаев А.И. Определение области эффективности систем теплоснабжения при внедрении автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Спецвыпуск (№89), –2025. №3-4. –С.75-87
9. Короли М.А., Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Научные основы схемно-технологической оптимизации солнечно-топливных котельных. Монография. ЦРНС, Новосибирск. 2016. -106 с.
10. Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В. Оценка энергетической эффективности и изменения показателей работы системы теплоснабжения с учетом поэтапного внедрения автоматических узлов учета и регулирования тепловой энергии на потребителях /VII международная научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и техно-логии».-North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015-Том 2. -С.131-133.
11. Анализ основных тенденций систем теплоснабжения. //Башмаков И.А. http://solex-un.ru/sites/solex-n/files/energo_files/teplosnabzhenie_i_bashmakov.pdf.
12. Ахметова И.Г. Система комплексной оценки и повышения эффективности централизованного теплоснабжения ЖКХ и промышленных предприятий: дисс. докт. техн. наук, Каз. гос. энергетич. университет, -Казань, 2017, - 374 с.
13. Allen B., Savard-Goguen M., Gosselin L. Optimizing heat exchanger networks with genetic algorithms for designing each heat exchanger including condensers// Applied Thermal Engineering. 2009, V. 29, no. 16. P. 3437-3444.
14. Hegner HD, Vogler I. Energiee in sparv eror dnung EnEV-fürdie Praxis kommentiert: Wärmeschutz und Energie bilanzen für Neubau und Bestand. Rechenverfahren, Beispiele und Auslegungenfür die Baupraxis// Ernst&Sohn Verlagfür Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.Berlin. 2002. 153 p.
15. Jie, P.; Kong, X.; Rong, X.; Xie, S. Selecting the optimum pressure drop per unit length of district heating piping network based on operating strategies. Appl. Energy 2016, 177, P. 341–353.
16. Putz S., Reiter P., Söll R. Smart Heat Supply in Austria within the PITAGORAS Project Journal of Energy Procedia 91, -C.3-7 (2016).
17. Wojdyga, K.; Niemyjski, O. Hydraulic analysis for a district heating system supplied from two CHP plants. Energy Build. 2012, 54, P. 81–87.
18. Morvaj, B.; Evins, R.; Carmeliet, J. Optimizing urban energy systems: Simultaneous system sizing, operation and district heating network layout. Energy 2016, 116, P. 619–636.
19. Vesterlund, M.; Toffolo, A.; Dahl, J. Optimization of multi-source complex district heating network, a case study. Energy 2017, 126, P. 53–63.
20. Toffolo, A.; Benini, E. Genetic diversity as an objective in multi-objective evolutionary algorithms. Evol. Comput. 2003, 11, P. 151–167.

REFERENCES

1. Plakhuta A.D. Energy conservation and cost savings with a well-founded choice of a promising heat supply source //Energy Security and Energy Saving. 2015. No. 1. P. 25-29.
2. Report on the project “Pilot demonstration project for the implementation of heat metering sys-



- tems at heat supply and heat transfer facilities” TACIS Project EUZ9802, Tashkent, 2002.
3. Papushkin V.N., Tassenko T.N., Bashmakov I.A., Apekhtin V.V., Gavrilov S.N. System for Providing Reliable and Energy-Efficient Public Utilities. UNDP. Moscow, 2004.
 4. Papushkin V.N. Methodology for calculating the radius of effective heat supply for heat supply schemes / V.N. Papushkin, S.O. Polyantsev, A.P. Shcherbakov, A.A. Khrapkov // [Electronic resource]. URL: https://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1601 (date of access 06/19/2020).
 5. Seidler P., Koroli M.A., Mironova O.A. On the efficiency of independent heating systems. Current issues in the field of technical and fundamental sciences, collection of scientific papers, v.1, Tashkent 2002. 65 p.
 6. Energy audit and regulation of energy resource consumption. Collection of methodological materials. NICE. Nizhny Novgorod. 1998. 64 p.
 7. Application of Danfoss automation equipment in heating units of central heating systems of buildings. Manual. RB.00.H8.50. Moscow: Danfoss, 2014. 63 p.
 8. Koroli M.A., Khoshimova F.A., Anarbaev A.I. Determining the efficiency range of heat supply systems when implementing automated individual heating units. Problems of energy and resource conservation. Special issue (No. 89) – Tashkent, TSTU, 2025. No. 3-4. pp. 75-87.
 9. Koroli M.A., Zakhidov R.A., Anarbaev A.I. Scientific foundations of circuit and technological optimization of solar-fuel boiler houses. Monograph. CRNS, Novosibirsk. 2016. p.106.
 10. Zvonareva Yu.N., Vankov Yu.V. Assessment of energy efficiency and changes in the performance indicators of the heat supply system taking into account the phased implementation of automatic metering and regulation units for thermal energy at consumers /VII International Scientific and Practical Conference "21st Century: Fundamental Science and Technology".-North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015. –T. 2. –C.131-133.
 11. Analysis of the main trends in heat supply systems. //Bashmakov I.A. http://solex-un.ru/sites/solex-n/files/energo_files/teplosnabzhenie_i.bashmakov.pdf.
 12. Akhmetova I.G. System of comprehensive assessment and improvement of efficiency of centralized heat supply of housing and communal services and industrial enterprises: diss... doctor of technical sciences, Kazakh state power engineering university, Kazan, 2017, - 374 p.
 13. Allen B., Savard-Goguen M., Gosselin L. Optimizing heat exchanger networks with genetic algorithms for designing each heat exchanger including condensers// Applied Thermal Engineering. 2009, V. 29, no. 16. P. 3437-3444.
 14. Hegner HD, Vogler I. Energiee in sparv eror dnung EnEV-fürdie Praxis kommentiert: Wärmeschutz und Energie bilanzen für Neubau und Bestand. Rechenverfahren, Beispiele und Auslegungenfür die Baupraxis// Ernst&Sohn Verlagfür Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.Berlin. 2002. -153 p.
 15. Jie, P.; Kong, X.; Rong, X.; Xie, S. Selecting the optimum pressure drop per unit length of district heating piping network based on operating strategies. Appl. Energy 2016, 177, P. 341–353.
 16. Putz S., Reiter P., Söll R. Smart Heat Supply in Austria within the PITAGORAS Project Journal of Energy Procedia 91, P.3-7 (2016).
 17. Wojdyga, K.; Niemyjski, O. Hydraulic analysis for a district heating system supplied from two CHP plants. Energy Build. 2012, 54, P. 81–87.
 18. Morvaj, B.; Evins, R.; Carmeliet, J. Optimizing urban energy systems: Simultaneous system sizing, operation and district heating network layout. Energy 2016, 116, P. 619–636.
 19. Vesterlund, M.; Toffolo, A.; Dahl, J. Optimization of multi-source complex district heating network, a case study. Energy 2017, 126, P. 53–63.
 20. Toffolo, A.; Benini, E. Genetic diversity as an objective in multi-objective evolutionary algorithms. Evol. Comput. 2003, 11, P. 151–167.