

DOI 10.23859/1994-0637-2017-5-80-6
УДК 697.34

© Чичерин С.В., 2017

Чичерин Станислав Викторович

Аспирант, Омский государственный
университет путей сообщения
(Омск, Россия)
E-mail: man_csv@hotmail.com

Chicherin Stanislav Viktorovich

Post-graduate student,
Omsk State Transport University
(Omsk, Russia)
E-mail: man_csv@hotmail.com

**ВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ
СЦЕНАРИЕВ МОДЕРНИЗАЦИИ
ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ
ПУНКТОВ**

**COMPARATIVE ANALYSIS
OF DIFFERENT HEAT SCENARIOS
FOR GROUP SUBSTATIONS**

Аннотация. Цель исследования – оценить различные варианты модернизации ЦТП с технико-экономической точки зрения. Результаты. Дан анализ объема капитальных затрат, чистого дисконтированного дохода (NPV) и сроков окупаемости. Научная новизна состоит в исследовании влияния объема затраченных средств на эффективность подсистемы: ЦТП – внутриквартальная сеть – потребитель. Выводы. Совокупность приведенных результатов позволяет считать поставленную задачу оценки различных варианты модернизации центральных тепловых пунктов с технико-экономической точки зрения полностью решенной.

Abstract. In Europe, most customers are connected by substations to primary distribution networks supplying heat with the same supply temperature to all customers. Secondary networks with lower distribution temperatures are sometimes connected to the primary network by a group substation. These secondary networks are more common in Russia and China. However, the heat demand and flow controls are often missing in the Russian secondary networks giving severe flow allocation problems with a large variation of indoor temperatures. The aim of this study was to assess different strategies regarding the substations transferring heat from the primary network from the CHP plant to the secondary networks supplying heat to the connected buildings and its integration into the future district heating system. Methods. We provide a detailed financial plan in a standard format, that includes presentation of the operating results for the project, monthly cash flows, and key investment figures such as Net Present Value (NPV), and Payback Time. Recommended Practice for Assessing Return on Investment Projects (2nd Edition) by Russian Federation Ministry of Economics, Gosstroy, and Ministry of Finance has been used. Results. One thing for sure, the findings demonstrate the importance of local technical, spatial or economic constraints. Compared to a scenario essentially focused on very high energy savings, a more flexible scenario, enabling to achieve some economy, but with lower initial costs, has been chosen. Conclusions. The approach definitely allows to undertake a comprehensive pre-feasibility study. The key messages are: (1) energy strategies should consider economically attractive alternatives, (2) group substations should be considered as an essential infrastructure for achieving sustainable Omsk

city. We have barely sketched up the plan and are going to send it to the local utility company.

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловые сети, ликвидация, четырехтрубный, схема, индивидуальный узел энергия, нагрузка, мощность, технико-экономический

Keywords: district heating, network, elimination, 4-pipe, consumer interconnection, energy, load, techno-economic

Введение

Исследования по совершенствованию промышленных теплоэнергетических систем и разработке научных основ сбережения энергетических ресурсов в теплоснабжающих системах в любое время остаются актуальными. В частности, советская модель сделала распространенной практику развития населенных пунктов, когда микрорайоны типовой застройки подключались к системам централизованного теплоснабжения посредством устройства центральных тепловых пунктов (ЦТП). 27 лет, прошедшие с момента распада Советского Союза, привели к плачевному состоянию оборудования установленного внутри самих ЦТП, а также внутриквартальной сетей от пунктов до конечных потребителей. Разумно требование повышения энергоэффективности перечисленных объектов в условиях внешних санкций и экономического кризиса, однако, каким путем этого добиться, непонятно.

Существует мнение, согласно которому развитию систем централизованного теплоснабжения в современных публикациях уделяется недостаточное внимание, а если уделяется, то в большей степени вопросам потребления [1] или выработки тепловой энергии [2]. Молдавские и китайские исследователи выполняют реконструкцию ЦТП с применением частотно-регулируемого привода сетевых насосов и установкой современных пластинчатых теплообменных аппаратов [3], [4]. В среде специалистов также высказывается мнение, что оптимальным решением модернизации систем теплоснабжения в условиях сложившейся застройки является перевод ЦТП на независимую схему присоединения с заменой стальных распределительных сетей на полимерные трубопроводы.

В г. Рига (Латвия) был сделан переход на двухтрубную схему теплоснабжения, а ЦТП были ликвидированы [5]. Это позволило ликвидировать 130 км труб горячего водоснабжения и привело к высвобождению помещений ЦТП [6]. В г. Киев (Украина) ЦТП также были демонтированы и заменены на индивидуальные тепловые пункты (ИТП) в жилых домах.

В статье [7] приводится описание технологии построения системы диспетчеризации узлов учета тепловой энергии, т.е. показаны лишь технические решения, пригодные к применению на ЦТП, однако комплексно проблема модернизации не рассматривается. С другой стороны, будущее ЦТП в свете применения низкотемпературных графиков качественного регулирования [8] вообще остается туманным, в то же время в Китайской Народной Республике ЦТП применяются и для присоединения объектов нового строительства в настоящее время [9].

Таким образом, несмотря на множество вариантов модернизации центральных тепловых пунктов, наиболее распространенным мнением является суждение о целесообразности простого демонтажа установленного оборудования, при этом технико-экономические обоснования зачастую не выполняются и не приводятся, а известные методики не применяются. Решение исследуемой в статье задачи (проблемы) начато в [10], однако, было выполнено большей частью применительно

к КНР, что позволяет частично опираться на нее в настоящей работе. Цель исследования – оценить различные варианты модернизации центральных тепловых пунктов с технико-экономической точки зрения.

Методы

Расчет выполнялся в соответствии с [11]. Чистым доходом (Net Value, NV) называется накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период:

$$NPV = \sum_{t=0}^n CF_t, \quad (1)$$

где суммирование распространяется на все шаги расчетного периода, n – их общее количество, а t – его порядковый номер, CF – денежный поток, тыс. руб.

Важнейшим показателем эффективности проекта является чистый дисконтированный доход (Net Present Value, NPV) – накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. Чистый дисконтированный доход рассчитывался по формуле (2):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}, \quad (2)$$

где i – норма дисконта. Ставка дисконтирования в формуле расчета (2) — это стоимость капитала (cost of capital) для инвестора. Другими словами, это ставка процента, по которой предприятие может привлечь финансовые ресурсы.

Сроком окупаемости («простым» сроком окупаемости, payback period) называется продолжительность периода от начального момента до момента окупаемости. Начальный момент указывается в задании на проектирование (обычно это начало нулевого шага или начало операционной деятельности). Моментом окупаемости называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый доход становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Сроком окупаемости с учетом дисконтирования называется продолжительность периода от начального момента до «момента окупаемости с учетом дисконтирования». Моментом окупаемости с учетом дисконтирования называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый дисконтированный доход становится и в дальнейшем остается неотрицательным.

Все расчеты выполнены исходя из предположения использования собственных оборотных средств предприятия или льготного (субсидируемого) кредитования, в связи с чем ставка дисконтирования равняется 0,2 %, другие взятые за основу макроэкономические показатели приведены в табл. 1.

Согласно прогнозам¹ размер индексации тарифов сетевых организаций для населения составит: в 2017 году – 7,0 %, в 2018 году – 6,0 %, в 2019 году – 6,0 %; далее принято аналогично. Год начала проекта принят текущий – 2017. На разных стадиях расчетов в соответствии с их целями и спецификой финансовые показатели и условия финансовой реализуемости проектов могут оцениваться в текущих или

¹ Прогноз тарифов от Минэкономразвития. URL: <http://www.rosteplo.ru/soc/blog/ekonomik/2726.html> (дата обращения: 11.06.2017)

прогнозных ценах. Остальные показатели определяются в текущих или дефлированных ценах.

Таблица 1

Макроэкономические показатели в Российской Федерации на период до 2045 г.

Макроэкономические показатели	2019–2020	2021–2025	2025–2045
Инфляция в РФ	4,6–4,3 %	4,3–3,9 %	3,9 %-н/д
Рост цен на электроэнергию	6 %	6 %	6 %
Рост заработной платы в электроэнергетике	9,1 %	8,8 %	8,7 %
Индекс-дефлятор инвестиций	8,0 %	7,9 %	7,0 %
Налоги:			
Налог на имущество	2,2 %	2,2 %	2,2 %
Налог на прибыль	20,0 %	20,0 %	20,0 %
Страховые взносы в ПФР, ФСС, ФОМС	30,0 %	30,0 %	30,0 %
НДС	18,0 %	18,0 %	18,0 %

В соответствии с информацией из литературных источников и мнениями специалистов предприятия было предварительно предложено более десятка типовых сценариев, включая реконструкцию ЦТП с применением частотно-регулируемого привода сетевых насосов, установку современных пластинчатых теплообменных аппаратов и перевод ЦТП на независимую схему присоединения с заменой стальных распределительных сетей на полимерные трубопроводы. В конечном итоге отобрано пять крайних (наиболее и наименее распространенных на практике) вариантов, позволивших получить максимально наглядные результаты; для каждого из них в рамках омской системы централизованного теплоснабжения подобран реальный объект исследования, где есть техническая необходимость и возможность реализовать предложенный комплекс мер (табл. 2).

Таблица 2

Описание сценариев модернизации центральных тепловых пунктов

Объект	Краткое описание сценария
ЦТП-546	Ликвидация ЦТП, переход на двухтрубную схему теплоснабжения, установка ИТП (демонтаж)
ЦТП-103	Устройство четвертого трубопровода (линии рециркуляции ГВС)
ЦТП-545	Установка предохранительных клапанов на двух трубопроводах
ЦТП-301	Замена запорной арматуры
ЦТП-546	Замена запорной арматуры с применением телемеханизации и диспетчеризации

От приведенных ЦТП осуществляется теплоснабжение от трех (ЦТП-301) до 34 зданий (ЦТП-103), их суммарные теплопотребление с разделением на различные технологические нужды показаны на рис. 1.

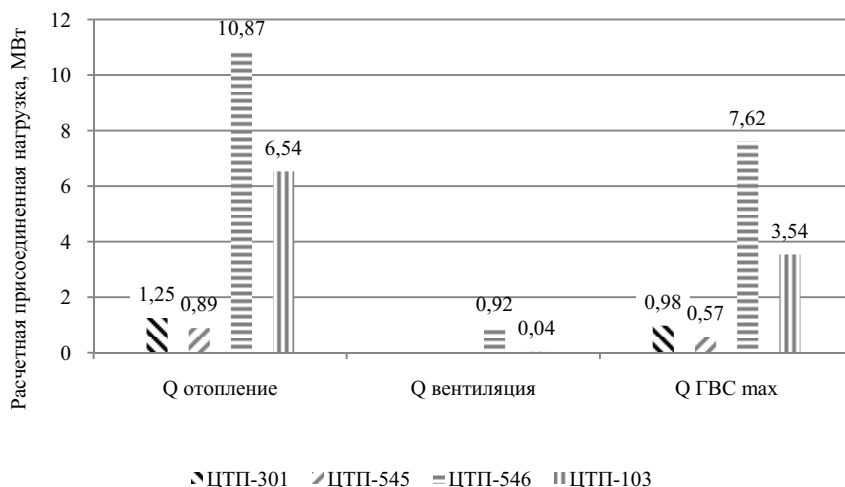


Рис. 1. Подключенная к каждому ЦТП мощность с указанием вида тепловой нагрузки

Для рассмотрения устройства дополнительной линии выбрано ЦТП-103 с большим количеством и значительной суммарной мощностью присоединенных потребителей. На данном объекте выполнено также подключение от котельной по ул. Герцена, 48 (температурный график 130 / 70), однако линия циркуляции ГВС до сих пор не предусмотрена. На примере ЦТП-545, находящемся вблизи повысительной насосной (ПНС-6), оценена установка предохранительных клапанов типа 17с17нж или аналогичных диаметром 80-100 мм, рассчитанных на максимальное давление 1,6 МПа, на подающем трубопроводе ГВС (74) и обратном отоплении (номер по спецификации – 73, рядом правее), как это сделано на ТПНС-554, находящемся вблизи источника теплоснабжения (рис. 2).



Рис. 2. Пример выполнения присоединения предохранительных клапанов в одном из ЦТП г. Омска

Замена запорной арматуры будет целесообразна на ЦТП-301, где арматура большей частью отработала нормативный ресурс, а состояние ограждающих конструкций способствует созданию благоприятных для коррозии металла условий (рис. 3) и одновременно негативных для обслуживающего персонала.



Рис. 3. Фланцевая стальная задвижка типа 30с15нж диаметром 150 мм (11), установленная вблизи манометра (96) на обратной линии отопления из квартала

Телемеханизация запорной арматуры и дистанционное снятие показаний приборов максимальна эффективна для системнозначимых объектов. Именно там круглосуточно находится обслуживающий персонал (два и более человек). Подключенная нагрузка составляет более 15 МВт (ЦТП-546, см. рис. 1), и это может привести к значительным убыткам за каждый час простоя оборудования и ограничения теплоснабжения. Для этого же объекта рассмотрен традиционный сценарий демонтажа и продажи помещения.

Результаты

Самый важный и самый трудный шаг в анализе инвестиционных проектов — это оценка всех денежных потоков, связанных с проектом. Во-первых, это величина первоначальной инвестиции (оттока средств). Во-вторых, это величины годовых притоков и оттоков денежных средств, которые ожидаются в последующие периоды.

При их расчете учитывались следующие составляющие: поступающая за сдаваемое в аренду помещение выгода, ежегодные затраты на фонд оплаты труда (включая заработную плату, страховые, пенсионные и налоговые отчисления), выплаты, возникающие при наступлении страхового случая по вине предприятия, компенсации ресурсоснабжающим организациям за сверхнормативные потери теплоносителя и холодной (сырой) воды, стоимость тепловых потерь (исходя из тарифа на тепловую энергию с учетом ежегодной индексации).

Затраты на устройство четвертого трубопровода (линии рециркуляции ГВС) предлагается частично распределить между жильцами обеспечиваемых услугой домов, так как наличие линии позволит повысить качество от услуги и сократить коммунальные платежи, избавляя от необходимости спускать теплую воду через устройства водоразбора, пока ее температура не достигнет приемлемого уровня. Стоимость установки ИТП в случае демонтажа оборудования ЦТП-546 также возможно частично профинансировать за счет муниципалитета, Фонда содействия реформирования ЖКХ, средств, собранных на нужды капитального ремонта. В связи с этим в графу «Сумма инвестиций» включены лишь затраты предприятия, осуществляющего эксплуатацию ЦТП и распределительных сетей от него. Визуализация динамики объема накопленных чистых доходов приведена на рис. 4.

По графику определим срок окупаемости, когда накопленные чистые доходы превысят накопленные чистые расход, т.е. точку пересечения с осью абсцисс, например, для проекта замены запорной арматуры с применением телемеханизации и диспетчеризации на ЦТП-546 срок окупаемости примерно равен 16 годам. Вся информация сведена в табл. 3.

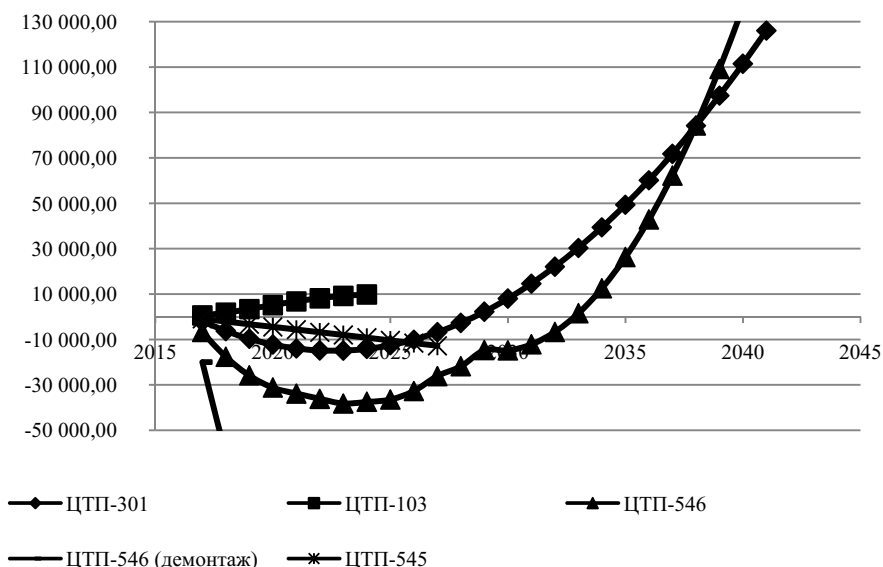


Рис. 4. Зависимость изменения величины накопленного дисконтированного сальдо от года реализации проекта

Таблица 3

Основные финансовые показатели предложенных инвестиционных проектов

Объект	Сумма инвестиций, тыс. руб.	Чистый дисконтированный доход (NPV), тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
ЦТП-546 (демонтаж)	40 000,00	-28 425,93	нет
ЦТП-103	1 157,00	639,51	<1
ЦТП-545	1 388,00	-1 188,00	нет
ЦТП-301	5 892	14 663,56	12
ЦТП-546	37055,00	29 519,07	16

Для признания проекта эффективным с точки зрения инвестора необходимо, чтобы чистый дисконтированный доход проекта был положительным. При оценке эффективности срок окупаемости, как правило, выступает только в качестве ограничения, поэтому при его отсутствии (как в данном случае) при сравнении альтернативных проектов предпочтение должно отдаваться проекту с большим значением чистого дисконтированного дохода (при выполнении условия его положительности).

Результаты подчеркивают важность учета местных технических, пространственных и экономических ограничений. Сравнивая сценарий, который позволит добиться значительной экономии, но одновременно требующий крупных инвестиций (замена запорной арматуры с применением телемеханизации и диспетчеризации на ЦТП-546), и более гибкий вариант, почти не приносящий прибыль, но с меньшими капитальными затратами для предприятия (устройство линии циркуляции ГВС на ЦТП-103), в текущих экономических реалиях предпочтение приходится отдать последнему. Научная новизна настоящей работы состоит в исследовании влияния объема затраченных средств на эффективность

распределения тепловой энергии в подсистеме: ЦТП – внутриквартальная сеть – потребитель.

Заключение

Важна составляющая исследования возможных вариантов модернизации, а также привлечения внимания к актуальной проблеме изношенности оборудования ЦТП и плачевному состоянию внутриквартальных сетей от таких пунктов до конечных потребителей. Совокупность приведенных результатов позволяет считать поставленную задачу оценки различных вариантов модернизации центральных тепловых пунктов с технико-экономической точки зрения полностью решенной, кроме того, показано, что демонтаж не является экономически выгодным для ЦТП со значительной присоединенной мощностью и большим числом потребителей, однако может быть целесообразен для объектов с нагрузкой порядка 1-2 МВт (1 Гкал/ч). Несмотря на то, что установка предохранительных клапанов в ЦТП-545 не является экономически выгодным мероприятием, его, тем не менее, следует воплотить в жизнь по причине технической необходимости. Практическая ценность полученных результатов заключается в составлении конкретной программы по реновации нескольких ЦТП г. Омска, которая будет направлена на предприятие, их обслуживающее. В целом же возможная сфера применения приведенных подходов – это объекты систем централизованного теплоснабжения любых населенных пунктов России и ближнего зарубежья.

Литература

1. Дубсон М.И. Методы и способы контроля за техническим состоянием и эксплуатацией тепловых сетей и эффективной работой ИТП на опыте предприятия «Ригас Силтумс» // Новости теплоснабжения. 2008. № 4 (92).
2. Кобец Н. Теплоэнергетика: чему надо учиться в Риге // Эксперт Сибирь. 2017. №11-12 (490).
3. Колосов М.В. Применение OPC технологии в системах диспетчеризации узлов учета тепловой энергии // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 5 (74). С. 10–12.
4. Лукин С.В., Шумова А.А., Завалина М.В., Шестаков Н.И., Ригин А.Н. Использование теплоты, отводимой от стальных слябов кристаллизаторами и роликками машин непрерывного литья заготовок, в системе теплоснабжения предприятия // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. № 3 (78). С. 28–37.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000.
6. Черней М.И., Ярмолич А.А., Леу В.И. Опыт применения конденсаторных установок и схем частотного регулирования в централизованной системе теплоснабжения мун. Кишинэу // Проблемы региональной энергетики. 2013. №1 (21). С. 48–56.
7. Чичерин С.В. Надежность и эффективность среднетемпературного теплоснабжения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23. № 2. С. 75–80. DOI: 10.18721/JEST.230207
8. Чичерин С.В. Планирование и оценка преимуществ увеличения нагрузки системы централизованного теплоснабжения // Вестник Восточно-сибирского государственного университета технологий и управления. 2017. № 2(65). С. 17–23.
9. Sheng X., & Lin D. Energy saving analyses on the reconstruction project in district heating system with distributed variable speed pumps. Applied Thermal Engineering, 2016. 101, 432–445.
10. Wang P., & Sipilä K. Energy-consumption and economic analysis of group and building substation systems — A case study of the reformation of the district heating system in China. Renewable Energy, 2016, 87, 1139–1147.
11. Werner S., Gong M. District heating research in China. Svensk Fjärrvärme AB, 2014:3

References

1. Dubson M.I. Metody i sposoby kontrolya za tekhnicheskim sostoianiem i ekspluatatsiei teplovykh setei i effektivnoi rabotoi ITP na opyte predpriiatiia «Rigas Siltums» [Methods and ways of control over the technical condition and operation of heating networks and the effective operation of ITP on the experience of the enterprise "Rigas Siltums"]. *Novosti teplosnabzheniia* [Heat supply news], 2008, no. 4 (92).
2. Kobets N. Teploenergetika: chemu nado učit'sia v Rige [Heat power engineering: what should we study in Riga]. *Ekspert Sibir'* [Expert, Siberia], 2017, no. 11–12 (490).
3. Kolosov M.V. Primenenie ORS tekhnologii v sistemakh dispatcherizatsii uzlov ucheta teplovoi energii [Application of ORS technology in the systems of dispatching of heat metering units]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Cherepovets State University], 2016, no. 5 (74), pp. 10–12.
4. Lukin S.V., Shumova A.A., Zavalina M.V., Shestakov N.I., Rigin A.N. Ispol'zovanie teploty, otvodimoi ot stal'nykh sliabov kristallizatorami i rolikami mashin nepreryvnogo lit'ia zagotovok, v sisteme teplosnabzheniia predpriiatiia [The use of heat removed from steel slabs by molds and rollers of continuous casting machines in the heat supply system of the enterprise]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Cherepovets State University], 2017, no. 3 (78), pp. 28–37.
5. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov*. Moscow: Ekonomika, 2000.
6. Cherni M.I., Iarmolich A.A., Leu V.I. Opyt primeneniia kondensatornykh ustanovok i skhem chastotnogo regulirovaniia v tsentralizovannoi sisteme teplosnabzheniia mun. Kishineu [Experience in the use of capacitor installations and frequency control schemes in the centralized heat supply system of the mun. Chisinau]. *Problemy regional'noi energetiki* [Problems of Regional Energy], 2013, no. 1 (21), pp. 48–56.
7. Chicherin S.V. Nadezhnost' i effektivnost' srednetemperaturnogo teplosnabzheniia [Reliability and efficiency of medium-temperature heat supply]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Estestvennye i inzhenernye nauki* [Scientific and technical bulletins of the St.-Petersburg Polytechnic University. Natural and Engineering Sciences], 2017, T. 23, no. 2, pp. 75–80. DOI: 10.18721/JEST.230207
8. Chicherin S.V. Planirovanie i otsenka preimushchestv uvelicheniia nagruzki sistemy tsentralizovannogo teplosnabzheniia [Planning and evaluation of the advantages of increasing the load of the district heating system]. *Vestnik Vostochno-sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniia* [Bulletin of the East-Siberian State University of Technology and Management], 2017, no. 2(65), pp. 17–23.
9. Sheng X., & Lin D. Energy saving analyses on the reconstruction project in district heating system with distributed variable speed pumps. *Applied Thermal Engineering*, 2016. 101, 432–445.
10. Wang P., & Sipilä K. Energy-consumption and economic analysis of group and building substation systems — A case study of the reformation of the district heating system in China. *Renewable Energy*, 2016, 87, 1139–1147.
11. Werner S., Gong M. *District heating research in China*. Svensk Fjärrvärme AB, 2014:3

Примечание: работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора В.М. Лебедева.

Чичерин С.В. Вариантный анализ сценариев модернизации центральных тепловых пунктов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №5(80). С. 53–61.

For citation: Chicherin S.V. Comparative analysis of different heat scenarios for group substations. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 5 (80), pp. 53–61.