Моделирование системы централизованного теплоснабжения с учетом работы с абонентами и особенностей эксплуатации насосного оборудования

С.К. Абильдинова¹, С.В. Чичерин²

¹ Алматинский университет энергетики и связи (АУЭС), 050031, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынулы, д. 126, корп. 1;
² Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), 644046, г. Омск, пр-т Карла Маркса, д. 35

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель настоящего исследования — показать, какие изменения, вносимые в математическую модель системы централизованного теплоснабжения, способны значительно повысить сходимость результатов моделирования с фактическими данными. Для ее достижения поставлены задачи оценки объема работы персонала теплоснабжающих организаций с абонентами, а также анализа способов повышения эксплуатационного КПД насосного оборудования, дающих экономию электроэнергии или повышение производительности при том же ее потреблении.

Материалы и методы. Проводится техническая приемка вновь вводимых и реконструируемых объектов, корректируются тепловые нагрузки, производятся отключения и повторные подключения потребителей-должников. Изучение данных, предоставленных местной теплоснабжающей организацией, показывает, что выполняемые производителями уплотнения насосов из чугуна и стали подвержены в эксплуатации ускоренному износу.

Результаты. Предложено три варианта: изготовление уплотнений из бронзы или нержавеющей стали, предотвращение неоправданного увеличения зазоров в уплотнениях, а также применение лабиринтовых конструкций уплотнений насосов. Это позволит повысить КПД насосного оборудования на 5–7 %, что дает экономию электроэнергии на каждом насосе около 200 тыс. кВт·ч или повышение производительности при том же потреблении электроэнергии. Поскольку насосная станция — часть системы централизованного теплоснабжения, а необработанная внутренняя поверхность насосов, устанавливаемых на насосных станциях тепловых сетей, имеет значительную шероховатость, шлифовка этих поверхностей может улучшить их гидравлическую характеристику. В рамках предлагаемого метода вся система теплоснабжения рассматривается не в ситуации, когда фактическая нагрузка равна сумме всех расчетных нагрузок, и насосное оборудование имеет заводские характеристики, а с учетом фактических нагрузок и характеристик.

Выводы. Математическая модель теплогидравлического режима системы централизованного теплоснабжения, учитывающая приведенные выше аспекты деятельности, позволила бы моделировать совместную работу систем отопления и горячего водоснабжения в переменных режимах с более высокой точностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нагрузка, потребитель, сеть, уплотнение, режим, гидравлический

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Абильдинова С.К., Чичерин С.В. Моделирование системы централизованного теплоснабжения с учетом работы с абонентами и особенностей эксплуатации насосного оборудования // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 6. С. 748–755. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.748-755

District heating system simulation considering consumer and pump operation features

Saule K. Abildinova¹, Stanislav V. Chicherin²

¹ Almaty University of Power Engineering and Telecommunications (AUES), 126 Baitursynov st., Almaty, 050013, Kazakhstan Republic;

² Omsk State Transport University (OSTU), 35 Marx st., Omsk, 644046, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The purpose of this investigation is to show what changes introduced in the mathematical model of a district heating system are capable of considerable improving the convergence of simulation results and actual data. The study evaluates the work of heating supply establishments with their customers as well as analysis of the ways of enhancing pump equipment efficiency that allows saving electric energy or increasing output at the same energy consumption.

Materials and methods. Engineering acceptance of newly introduced and reconstructed facilities is conducted, heat loads are corrected, disconnections and recurrent connections of indebted consumers are carried out. Studying data submitted

by a local heat supply establishment shows that pump seals made from iron and steel are subject accelerated wear in the course of operation.

Results. Three variants of the problem solution are suggested: making seals from bronze or stainless steel, prevention of unjustified increase of seal clearances as well as using labyrinth pump seals. This will allow increasing pump equipment efficiency by 5 to 7 % and save about 2×10^5 kW·h of electrical energy for every pump or increase of output at the same energy consumption. Taking into account that a pump station is a part of the district heating system and unmachined inner surfaces of the pumps have a significant roughness, grinding of these surfaces can improve their hydraulic characteristics of the pumps. In the scope of the suggested method, the entire district heating system is considered not in the situation when actual load is equal to the sum of all the design loads and the pump equipment has manufacturer's parameters, but accounting actual loads and characteristics.

Conclusions. Mathematical model of district heating system heating and hydraulic mode that takes issues mentioned above into consideration would allow simulating joint operation of the heating and hot water supply systems at transient operation modes with higher accuracy.

KEYWORDS: load, customer, network, seal, mode, hydraulic

FOR CITATION: Abildinova S.K., Chicherin S.V. District heating system simulation considering consumer and pump operation features. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(6):748-755. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.748-755

ВВЕДЕНИЕ

Научно-технические задачи моделирования систем централизованного теплоснабжения были сформулированы в работах Х. Юаня, С.В. Косякова, А. Дэхэша и др. [1–3]. В данных публикациях предложено качественное описание постановок для решения основных проблем, приводящих к снижению точности моделирования. Оно основывается на межотраслевом опыте системных исследований и управления крупными объектами [4, 5].

Система централизованного теплоснабжения представляет собой многоуровневую сложную систему взаимодействующих элементов, каждый из которых является подсистемой со своими закономерностями функционирования и внутренними взаимосвязями. Изучение системы централизованного теплоснабжения в целом с точки зрения работы с абонентами и особенностей эксплуатации насосного оборудования распадается на ряд проблем, общее описание которых приведено в труде [6].

Для математического описания режимов систем централизованного теплоснабжения используются различные математические подходы, которые условно можно поделить на детерминированные, вероятностно-статистические и комбинированные [7].

Исторически системы теплоснабжения конструировались как отопительные, т.е. предназначенные для обеспечения отопительной нагрузки потребителя, которая остается основной и в настоящее время. Задача технико-экономического планирова-

ния состоит в определении расчетного, постоянно в течение всего отопительного периода расхода теплоносителя, определяемого температурой теплоносителя на выходе из источника теплоты, температурой и скоростью наружного воздуха, а также отопительной нагрузкой.

Решают эту задачу аналитически, при этом вся система теплоснабжения рассматривается как один потребитель, фактическая нагрузка которого равна сумме всех расчетных нагрузок, а насосное оборудование имеет заводские характеристики [2, 8]. Применение такого подхода в небольших системах централизованного теплоснабжения дает удовлетворительные результаты. Однако на практике такое невозможно, кроме того, крупные системы централизованного теплоснабжения без насосных станций в настоящее время не эксплуатируются [9]. Существующая система нормативно-технической документации не направлена на использование современных технических и научных решений [10], требования к моделированию систем централизованного теплоснабжения в ней не заложены.

Цель настоящего исследования — показать, какие изменения в математическую модель системы централизованного теплоснабжения способны значительно повысить сходимость результатов моделирования с фактическими данными. Для достижения данной цели поставлены задачи оценки объема работы персонала теплоснабжающих организаций с абонентами, а также анализ способов повышения эксплуатационного КПД насосного оборудования, дающих экономию электроэнергии или повышение

производительности при том же ее потреблении. К тому же, более аккуратная оценка степени влияния вновь присоединяемых потребителей на параметры по давлению теплоносителя на соседних потребителей целесообразна для уточнения стоимости, взимаемой при подключении [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Практика показывает, что выполняемые заводами уплотнения насосов из чугуна и стали подвержены в эксплуатации ускоренному износу. Например, у насоса П-150-5 зазоры в указанных уплотнениях возрастали в течение всего трех месяцев работы насоса с 0,2 до 0,8 мм, и соответственно снижался КПД насоса. Достаточно отметить, что, например, увеличение зазоров в уплотнениях сетевых насосов всего на 0,1 мм вызывает перерасход электроэнергии более 300 тыс. кВт·ч в год. Отечественные [12] и зарубежные [13, 14] ученые ведут работу по выбору наиболее стойких материалов для изготовления уплотнительных втулок. Оказалось, что наибольшей износоустойчивостью обладают стальные втулки с поверхностью, наплавленной электродом Т-590, изготовление и шлифовка таких уплотнений без привлечения сторонних организаций представляют, однако, техническую сложность.

Более доступным и достаточно эффективным является широко практикуемое в настоящее время изготовление уплотнений из бронзы или нержавеющей стали. Очень важно, кроме того, своевременно проводить ремонт насосов с тем, чтобы не допускать в эксплуатации неоправданного увеличения зазоров в уплотнениях. Значительный эффект можно ожидать и от применения лабиринтовых конструкций уплотнений насосов. Приведенные данные — ориентировочные, но они дают достаточно полное представление о том, насколько важно поддерживать в эксплуатации минимально возможную величину зазоров в уплотнениях насосов. Для повышения экономичности насосных установок большое значение имеет отсутствие шероховатостей на внутренних поверхностях проточной части насосов. Заводами-изготовителями насосов это важное условие в ряде случаев не выдерживается, что ведет к существенному снижению экономичности насосных установок. Несоответствие гидравлических характеристик насосов: развиваемого напора и производительности (подачи) заявленным снижает эффективность проведения гидравлических испытаний на плотность и прочность, тем самым подрывая надежность теплоснабжения [15].

В настоящее время моделирование систем централизованного теплоснабжения осуществляется в соответствии с законами гидродинамики без учета

объема работы персонала теплоснабжающих организаций с абонентами. Так, распределение напоров (м вод. ст.) определяется согласно закону Бернулли:

$$H = \frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^3}{2g}, \quad (1)$$

где p — избыточное давление, Па; ρ — плотность теплоносителя, кг/м³; z — геодезическая высота объекта, м; v — скорость теплоносителя, м/с.

Линейная потеря напора (без учета местных сопротивлений) на участке тепловой сети вычисляется следующим образом:

$$h_{\text{л}} = \frac{\lambda v^2 l}{d 2g}, \quad (2)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения; v — скорость теплоносителя, м/с; l — длина участка тепловой сети, м; d — диаметр трубопроводов на участке, м. Падение давления на местных сопротивлениях находят по формуле:

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \xi \frac{v^2 \rho}{2g}, \quad (3)$$

где $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Снижение гидравлических потерь за счет снижения обоих составляющих: как линейных (формула (2)), так и местных (формула (3)) потерь, возможно при переходе на местные (автономные) источники [16], однако, в соответствии с подходом, предлагаемым в статье [17], следует учитывать не только затраты на перекачку сетевой воды, но и негативные последствия из-за снижения потребления тепловой энергии для источников комбинированной выработки, а также ситуацию с параметрами теплоносителя на соседних абонентах.

Напоры и расходы до (индекс «1») и после (индекс «2») изменения нагрузки или изменения гидравлической схемы связаны известным соотношением:

$$\frac{G_1}{G_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}. \quad (4)$$

Диаметр дроссельной диафрагмы зависит от расхода сетевой воды и располагаемого напора перед тепловым пунктом ΔH , м вод. ст.:

$$d = 10^4 \sqrt{\frac{G^2}{\Delta H}}. \quad (5)$$

При заданном номере элеватора (диаметре горловины) диаметры сменной насадки (сопла) определяется соотношением:

$$d = 9,6^4 \sqrt{\frac{G^2}{\Delta H}}. \quad (6)$$

Информация о системах теплоснабжения других населенных пунктов была взята из работы [18], где производилось изучение схем теплоснабжения различных городов; на основании полученных данных ниже сделан вывод о типе основных потребителей тепловой энергии. Фактические расходы теплоносителя по принятому объекту исследования приведены в статье [19], информация о программно-расчетном комплексе, на основании которой делается вывод о допустимости ее применения, изложена Д.К. Кисловым и др. [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках системы централизованного теплоснабжения г. Омска в работе находится 14 насосных станций, на которых установлены насосы марки Д, НДС, КРНА и СЭ. Доля последних — наибольшая, их количество достигает 26 шт. при единичной производительности установки от 800 до 2500 м³/ч. Развиваемый напор зависит от марки и типоразмера насоса и колеблется в диапазоне от 60 до 140 м вод. ст. Вал насосов приводится во вращение асинхронными электродвигателями мощностью от 75 до 710 кВт при номинальной частоте вращения порядка 1500 об/мин независимо от параметров оборудования.

Обследование насосов, проведенное персоналом теплоснабжающих организаций, показывает, что необработанная внутренняя поверхность насосов, устанавливаемых на насосных станциях тепловых сетей, имеет абсолютную литейную шероховатость около 1 мм и большое количество выступов значительных размеров. Исходя из приведенных численных значений и длительности отопительного периода 5340 ч, проведенная собственными силами шлифовка этих поверхностей позволила бы повысить КПД насосного оборудования на 5–7 %, что дает экономию электроэнергии на каждом насосе около 200 тыс. кВт·ч или повышение производительности при том же потреблении электроэнергии.

Шлифовка проточной части циркуляционных насосов может производиться при помощи наждачного круга, приводимого в движение электродрелью или пневматической турбинкой. Значительная шероховатость имеет место и у проточной (литой) части питательных насосов типа КРНА и СЭ. Проведенные первые опытные работы по шлифовке их проточной части выявили возможность повышения КПД этих насосов на 2–3 %. Однако шлифовка проточной части высокопроизводительных насосов более затруднительна в связи с более сложной конфигурацией проточной части и ее меньшими

размерами; в данном случае требуется применение специальных приспособлений. Особенно большая шероховатость внутренних поверхностей наблюдается у насосов малых габаритов (типы Д и НДС), что резко снижает их экономичность.

Основная доля потребителей тепловой нагрузки приходится на жилищные объекты и объекты социально-бытового назначения. Персонал теплоснабжающих организаций контролирует абонентов в части выполнения требований правил технической эксплуатации (ПТЭ) тепловых энергоустановок, а также осуществляет техническую приемку тепловых энергоустановок и систем теплопотребления абонентов. Постоянно готовятся технические условия на реконструкцию тепловых узлов, а также согласуются проекты на тепловые сети и производство работ, проводимых вблизи тепловых сетей.

Происходит обследование индивидуальных тепловых пунктов с целью проверки соблюдения потребителями ПТЭ тепловых энергоустановок, температурных и гидравлических режимов, установленных лимитов теплопотребления на соответствие договорным нагрузкам. Проводятся техническая приемка вновь вводимых и реконструируемых объектов, а также обследования по письменным обращениям абонентов, выдаются рекомендации по улучшению качества теплоснабжения. Ведется работа по запросам, направляемым из смежных подразделений, корректируются тепловые нагрузки (отключение горячего водоснабжения (ГВС), систем вентиляции и другого теплопотребляющего оборудования). Специалисты оформляют преддоговорные акты на объекты с расчетами объемов тепловой энергии по видам потребления.

В летнее время персонал теплоснабжающих организаций осуществляет техническую приемку к отопительному сезону индивидуальных и групповых (центральных) тепловых пунктов. Инженеры и техники, работающие с абонентами, совместно с эксплуатационными районами организуют и принимают участие в отключениях и повторных подключениях потребителей-должников в тепловых камерах.

В организации (отделы), отвечающие за сбыт тепловой энергии, передается следующая информация:

- справки по ежемесячной корректировке тепловых нагрузок абонентов;
- справки о состоянии закрытого горячего водосбора;
- акты на отсутствие теплоснабжения и ГВС у абонентов в связи с производством ремонтных работ на сетях теплоснабжающих организаций.

За расточительное использование тепловой энергии (перегрев, утечки, сверхнормативные те-

пловые потери), за самовольное включение систем теплоснабжения без оформления договора предусмотрены штрафные санкции.

Объемы потерь тепловой энергии и сетевой воды, связанные с разными видами нарушений, для одной из теплоснабжающих организаций в годовом исчислении приведены на диаграмме (рис. 1).

В рассмотренном примере суммарные годовые потери тепловой энергии и сетевой воды составили 22 274 Гкал и 88 778 т соответственно. Наиболее заметна доля потерь тепловой энергии за счет перегрева обратной сетевой воды. Простой расчет показывает, что учет лишь этой составляющей при температурном графике 150/70 увеличит расчетные расходы теплоносителя на коллекторах теплоисточника на 3,2 %, приблизив их таким образом к фактическим. Учет всего объема работы персонала теплоснабжающих организаций с абонентами и своевременное внесение изменения в математическую модель способно значительно повысить сходимость результатов моделирования с фактическими данными.

Для моделирования тепловых процессов предлагается использовать такой пакет инструментов, где исходными данными являются:

- расчетная тепловая производительность, кДж/ч;
- расчетные тепловые эквиваленты расхода воздуха и воды, кДж/(кгс);
- температура сетевой воды на входе в теплоснабжающую установку;

- температура сетевой воды перед системой теплоснабжения, °С;
- температура сетевой воды за системой теплоснабжения, °С;
- тепловой эквивалент расчетного расхода сетевой воды на систему теплоснабжения, кДж/(кгс);
- гидравлическое сопротивление обратной линии сети;
- гидравлическая характеристика источника теплоснабжения;
- удельная тепловая производительность системы теплоснабжения, кДж/с.

Тогда после завершения моделирования станет возможным получить расходы сетевой и водопроводной воды, температуры теплоносителя в характерных точках схемы. При работе с абонентами основополагающими величинами являются располагаемые напоры, исходя из которых определяются диаметры дроссельных устройств (формулы (5)–(6)). В соответствии с законом Бернулли (1) напор зависит от давления, а последняя компонента скорости по причине ограниченного влияния может не учитываться. Пакетами инструментов, удовлетворяющими приведенным критериям по входным и выходным данным, служат программно-расчетные комплексы Zulu и Ангара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математическая модель теплогидравлического режима системы централизованного теплоснабже-

Рис. 1. Примерное распределение потерь тепловой энергии и теплоносителя по причинам

Fig. 1. The approximate distribution of heat and coolant losses by causes

ния, учитывающая приведенные выше аспекты деятельности, позволила бы моделировать совместную работу систем отопления и горячего водоснабжения в переменных режимах. Она могла бы охватить процессы в наиболее распространенных в настоящее время схемах присоединения отопления и ГВС.

Тщательная проверка состояния насосов, проводимая персоналом теплоснабжающих организаций, позволяет выявить и устранить целый ряд недостатков, снижающих экономичность насосов, на которые ранее не обращалось должного внимания. К ним относятся: неправильная форма входных и выходных кромок лопаток рабочих колес

и направляющего аппарата, наличие резких сужений проходных сечений, несовпадение выходных кромок рабочих колес с входными кромками направляющего аппарата, наличие выступающих кромок у фланца-разъема корпуса насоса и т.п. Устранение указанных дефектов не вызывает каких-либо трудностей и в ряде случаев обеспечивает весьма значительное повышение КПД насосов.

В результате систематического осуществления изложенных выше мероприятий может быть достигнуто повышение эксплуатационного КПД большинства насосов и увеличение точности моделирования гидравлических режимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yuan X., Yali X., Qiongyao W. Dynamic temperature model of district heating system based on operation data // *Energy Procedia*. 2019. Vol. 158. Pp. 6570–6575. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.01.073
2. Косяков С.В., Садыков А.М., Сенников В.В., Смирнов В.В. Повышение эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения на основе применения информационной системы мониторинга тепловых сетей // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2018. № 2. С. 57–66.
3. Dahash A., Mieck S., Ochs F., Krautz H.J. A comparative study of two simulation tools for the technical feasibility in terms of modeling district heating systems: An optimization case study // *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2019. Vol. 91. Pp. 48–68. DOI: 10.1016/j.simpat.2018.11.008
4. Чичерин С.В., Збараз Л.И. Теплотехническая характеристика квартальной застройки — причина прекратить строительство микрорайонов // *Известия КГАСУ*. 2019. № 1 (47). С. 194–206.
5. Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И., Алексеев А.В., Гребнева О.А., Баринаева С.Ю. Информационно-вычислительный комплекс «Ангара-ТС» для автоматизации расчета и анализа эксплуатационных режимов при управлении крупными многоконтурными системами теплоснабжения // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. Т. 22. № 11 (142). С. 126–144. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-126-144
6. Чичерин С.В. Место теплоснабжения в современном городе // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2018. Т. 9. № 3. С. 79–87.
7. Монахов Г.В., Войтинская Ю.А. Моделирование управления режимами тепловых сетей. М. : Энергоатомиздат, 1995. 224 с.
8. Чичерин С.В. Оптимизация потребления тепловой энергии зданиями: графики изменения нагрузки буднего и выходного дня // *Энерго-ресурсо-эффективность в интересах устойчивого развития : сб. тр. междунар. науч. конф. Томск, 2018. С. 58–60.*
9. Дубинин А.Б., Вдовенко И.А., Николаев Ю.Е., Струков И.В. Повышение эффективности систем теплоснабжения городов путем оперативного контроля параметров в узловых точках тепловых сетей // *Энергобезопасность и энергосбережение*. 2018. № 6. С. 27–31.
10. Палей Е.Л. Об изменениях в нормативные документы по теплоснабжению // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2019. Т. 3. № 3. С. 58–75.
11. Синельникова В.Н. Модель тарифообразования в централизованном теплоснабжении // *Экономика и предпринимательство*. 2019. № 1 (102). С. 1033–1041.
12. Щерба В.Е., Шалай В.В., Григорьев А.В., Кондюрин А.Ю., Баженов А.М. Анализ влияния давления нагнетания в компрессорной секции на рабочие процессы и характеристики поршневой гибридной энергетической машины с щелевым уплотнением ступенчатого вида // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2018. № 4 (697). С. 49–57. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-4-49-57
13. Memon S., Fang Y., Eames P.C. The influence of low-temperature surface induction on evacuation, pump-out hole sealing and thermal performance of composite edge-sealed vacuum insulated glazing // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 135. Pp. 450–464. DOI: 10.1016/j.renene.2018.12.025
14. Integrated valve gasket and enhanced eccentric assembly in a pump or gas compressor // *Sealing Technology*. 2018. Vol. 2018. Issue 1. Pp. 12–13. DOI: 10.1016/s1350-4789(18)30087-4

15. Чичерин С.В. Совершенствование программы проведения ежегодных гидравлических испытаний трубопроводов тепловых сетей города Омска на плотность и прочность // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : мат. науч. конф., посвящ. Дню российской науки. Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2019. С. 13–18.

16. Минаев Б.Н., Науменко С.Н., Костин Н.М., Гусев Г.Б. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения станций метрополитена // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 1. С. 23–26. DOI: 10.18635/2071-2219-2019-1-23-26

17. Андреев А.С., Синицын Н.Н. Макромоделирование систем теплоснабжения с учетом эколого-экономических и термодинамических факторов // Промышленная энергетика. 2019. № 2. С. 16–20.

18. Чичерин С.В., Глухов С.В. Методика планирования нагрузок системы централизованного теплоснабжения // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 3. С. 129–136. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.22

19. Chicherin S.V. Comparison of a district heating system operation based on actual data — Omsk city, Russia, case study // International Journal of Sustainable Energy. 2019. Vol. 38. Issue. 6. Pp. 603–614. DOI: 10.1080/14786451.2018.1548466

20. Кислов Д.К., Рябенко М.С., Рафальская Т.А. Разработка системы интеллектуального теплоснабжения на базе информационной сети Zulu // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 2 (112). С. 55–59.

Поступила в редакцию 23 марта 2019 г.

Принята в доработанном виде 27 апреля 2019 г.

Одобрена для публикации 29 мая 2019 г.

О Б АВТОРАХ: Абильдинова Сауле Кианбековна — PhD, доцент, Алматинский университет энергетики и связи (АУЭС), 050031, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынулы, д. 126, корп. 1, saule18kz@mail.ru;

Чичерин Станислав Викторович — аспирант, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), 644046, г. Омск, пр-т Карла Маркса, д. 35, man_csv@hotmail.com.

REFERENCES

1. Yuan X., Yali X., Qiongyao W. Dynamic temperature model of district heating system based on operation data. *Energy Procedia*. 2019; 158:6570–6575. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.01.073

2. Kosyakov S.V., Sadykov A.M., Sennikov V.V., Smirnov V.V. Improving the efficiency of operation of centralized heat supply systems based on the application of the information system for monitoring heating networks. *Herald of the Ivanovo State Energy University*. 2018; 2:57–66.

3. Dahash A., Mieck S., Ochs F., Krautz H.J. A comparative study of two simulation tools for the technical feasibility in terms of modeling district heating systems: An optimization case study. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2019; 91:48–68. DOI: 10.1016/j.simpat.2018.11.008

4. Chicherin S.V., Zbaraz L.I. Thermal performance of quarterly buildings — reason to stop building neighborhoods. *News of the KSUAE*. 2019; 1(47):194–206.

5. Novitsky N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Barinova S.Yu. Information-computing complex “Angara-TS” for automating the calculation and analysis of operational regimes

in the management of large multi-circuit heating systems. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2018; 22:11(142):126–144. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-126-144

6. Chicherin S.V. District heating for a urban sustainable future. *PNRPU Construction and Architecture Bulletin*. 2018; 3(9):79–87.

7. Monakhov G.V., Voytinskaya Yu.A. *Modeling of management of heating network modes*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1995; 224.

8. Chicherin S.V. Optimizing building heat consumption: weekday and weekend profiles. *Sustainable and Efficient Use of Energy, Water and Natural Resources : Proceedings of the International Conference*. Tomsk, 2018; 58–60.

9. Dubinin A.B., Vdovenko I.A., Nikolaev Yu.E., Strukov I.V. Improving urban heat supply efficiency by operational control at joint points of heat networks. *Energy security and energy saving*. 2018; 6:27–31.

10. Paley E.L. On changes in regulatory documents on heat supply. *AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics*. 2019; 3(3):58–75.

11. Sinelnikova V.N. Tariff model in centralized heat supply. *Economy and Entrepreneurship*. 2019; 1(102):1033-1041.

12. Shcherba V.E., Shalai V.V., Grigoriev A.V., Kondyurin A.Yu., Bazhenov A.M. An analysis of the influence of the discharge pressure in the compressor section on the working processes and characteristics of a piston hybrid power machine with a stepped slot seal. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*. 2018; 4(697):49-57. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-4-49-57

13. Memon S., Fang Y., Eames P.C. The influence of low-temperature surface induction on evacuation, pump-out hole sealing and thermal performance of composite edge-sealed vacuum insulated glazing. *Renewable Energy*. 2019; 135:450-464. DOI: 10.1016/j.renene.2018.12.025

14. Integrated valve gasket and enhanced eccentric assembly in a pump or gas compressor. *Sealing Technology*. 2018; 2018(1):12-13. DOI: 10.1016/s1350-4789(18)30087-4

15. Chicherin S.V. Advanced water pressure testing on district heating pipes — Omsk (Russia) case study. *Innovative projects and technologies in education, industry and transport Materials of the scientific*

conference devoted to the Day of Russian science : in the collection. Omsk, Omsk State University of Communications Publ., 2019; 13-18.

16. Minaev B.N., Naumenko S.N., Kostin N.M., Gusev G.B. Efficiency of using heat pumps for heat supply to metro stations. *Energy Security and Energy Saving*. 2019; 1:23-26. DOI: 10.18635/2071-2219-2019-1-23-26

17. Andreev A.S., Sinitsyn N.N. Macromodelling of heat supply systems taking into account environmental-economic and thermodynamic factors. *Industrial Energy*. 2019; 2:16-20.

18. Chicherin S.V., Glukhov S.V. Centralized heat supply system and techniques of planning its loads. *Urban Construction and Architecture*. 2017; 7(3):129-136. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.22

19. Chicherin S.V. Comparison of a district heating system operation based on actual data — Omsk city, Russia, case study. *International Journal of Sustainable Energy*. 2019; 38(6):603-614. DOI: 10.1080/14786451.2018.1548466

20. Kislov D.K., Ryabenko M.S., Rafalskaya T.A. Development of an intelligent heat supply system based on the Zulu information network. *Energy Saving and Water Treatment*. 2018; 2(112):55-59.

Received March 23, 2019

Adopted in a modified form on April 27, 2019

Approved for publication May 29, 2019

B I O N O T E S : **Saule K. Abildinova** — PhD, Associate Professor, **Almaty University of Power Engineering and Telecommunications (AUES)**, 126 Baitursynov st., Almaty, 050013, Kazakhstan Republic, saule18kz@mail.ru;

Stanislav V. Chicherin — postgraduate, **Omsk State Transport University (OSTU)**, 35 Marx st., Omsk, 644046, Russian Federation, man_csv@hotmail.com.