

Оборудование ИТП: соответствие требованиям заказчика и технического регулирования

Введение

Несмотря на то, что в некоторых городах (Риге, Москве, Санкт-Петербурге) работа по замене элеваторных тепловых узлов, до недавнего времени распространённых во всех населённых пунктах постсоветского пространства, на большей части объектов уже завершается, в регионах их доля всё ещё зачастую составляет не менее 50%. При проектировании автоматизированных ИТП (рис.1) критически важна их увязка с оборудованием системы отопления, например, правильный выбор и установка автоматических регуляторов перепада давления на стояках отопления [1]. Лю и др. [2] показывают, что для эффективного контроля за работой ИТП и оптимизации способов их эксплуатации необходимо оценить существующие методы качественного и количественного регулирования на основе показаний приборов учёта (ПУ). С другой стороны, сопоставление полученной с телеметрии информации со специфическими характеристиками конкретного здания представляет сложность для генерализации результатов исследования.

Всеми проектами предусматривается автоматизация работы оборудования ИТП. Качественное регулирование теплопотребления обеспечивается программируемым контроллером, который по сигналу датчика температуры наружного воздуха определяет необходимую температуру теплоносителя на входе в систему отопления, сравнивает её с фактической температурой, измеренной датчиком, и выдаёт управляющий сигнал регулируемому клапану, изменяя расход греющего теплоносителя.

Таким образом, температура теплоносителя на входе в систему отопления поддерживается автоматикой в зависимости от температуры наружного воздуха по заданному графику отопления.

Использование схем автоматизации на базе регулятора ECL Comfort 310 способствует улучшению гидравлического режима системы отопления, однако слепая автоматизация тепловых пунктов приводит к нарушению качественного режима регулирования теплосети и снижению параметров теплоносителя на соседних (зачастую неавтоматизированных) потребителях [3].

Качественное регулирование теплопотребления обеспечивается программируемым контроллером, который по сигналу датчика температуры наружного воздуха определяет необходимую температуру теплоносителя на входе в систему отопления, сравнивает её с фактической температурой измеренной датчиком и выдаёт управляющий сигнал регулируемому клапану

Для поддержания температуры в системе отопления по заданному температурному графику (чаще всего 95/70°C), как правило, предусматриваются двухходовые регулирующие клапаны типа VFG2 (диаметр до 100 мм, $k_{vs} = 125 \text{ м}^3/\text{ч}$) с электроприводом.

При снижении температурного графика перспективным направлением для исследования является организация перемешивающей импульсной циркуляции теплоносителя в системе отопления [4]. Что касается насосного оборудования то циркуляционный насос (например, TP 100-390/2 производителя Grundfos), чаще устанавливается на обратном трубопроводе, а подбирается с учётом потерь давления в системе отопления, трубопроводах и оборудовании теплового пункта.

Рецензия эксперта на статью получена 27.03.2020 [Expert review on the article received on Mar 27, 2020].

УДК 697.34. Научная специальность: 05.14.04.

Проверка состава оборудования ИТП на соответствие требований заказчика, нормативно-технического регулирования и целесообразности

С. В. Чичерин, аспирант, кафедра теплоэнергетики, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, г. Омск); **А. В. Жуиков**, к.т.н., доцент, кафедра «Инженерные системы зданий и сооружений», Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета (г. Красноярск)

Объектами рассмотрения стали комплекты рабочей и проектной документации на строительство МКД и зданий административного назначения в России. Было выполнено сравнение принятых проектных решений с требованиями нормативной документации. При соблюдении рекомендаций по обеспечению запаса по расходу регулирующей арматуры происходит завышение её стоимости и снижение качества обеспечения ЖКУ.

Ключевые слова: отопление, насос, трубопровод, клапан, давление, схема, регулирование, температура, теплообменник, горячее водоснабжение, ГВС, вентиляция.

UDC 697.34. The number of scientific specialty: 05.14.04.

Ensuring efficient building engineering services design complies with specifications, regulatory authorities and client requirements

S. V. Chicherin, postgraduate student, the Department of Heat Power Engineering, Omsk State Transport University (Omsk city); **A. V. Zhukov**, PhD, Associate Professor, the Department of Engineering Systems of Buildings and Structures, Institute of Civil Engineering of Siberian Federal University (Krasnoyarsk city)

The calculation was performed for both the public buildings and the standard apartment building located in Russia. Engineering documents are checked if they are designed in accordance with the national construction code. Control valves should be sized for the lowest available flow. If there is a great a difference, it is considered as a factor limiting the economic viability and service continuity.

Key words: heating, pump, pipe, valve, pressure, connection, control, temperature, heat exchanger, hot water supply, HWS, ventilation.

Системы горячего водоснабжения присоединяются к тепловой сети по закрытой (требующей теплообменного оборудования) схеме, например, двухступенчатой смешанной; устройство циркуляционного трубопровода для обеспечения заданной температуры ГВС в часы минимального водоразбора в ряде случаев обязательно. Автоматическое поддержание заданной температуры горячей воды производится двухходовым клапаном типа VFG2, также с электроприводом. Насос (например, UPS 65-180 FB производителя Grundfos) устанавливается на циркуляционном трубопроводе и, разумеется, также подбирается с учётом потерь давления [5].

Для обеспечения нужд горячего водоснабжения на ИТП, подключаемых по двухступенчатой схеме, как правило, в первой ступени используется пластинчатый теплообменник M6-FG (47 пластин), во второй ступени — пластинчатый теплообменник TL6-BFG (37 пластин) одних и тех же производителей, например, «Взлёт» или Alfa Laval, применение секционного змеевикового водоподогревателя остаётся редкостью [6]. Гюэльпэ и др. [7] описывают систему автоматического обнаружения чрезмерного загрязнения теплообменного оборудования, запущенную в качестве пилотного проекта в городе Турине (Италия), где к ней подключено более 300 потребителей.

При недостаточности параметров теплоносителя для работы ИТП по зависимой схеме, например, когда располагаемый напор на вводе меньше 5 м вод. ст. при графике 150/70°C, в технических условиях на подключение предусматривается независимая схема присоединения [8].

Методы

Объектами настоящего исследования стали комплекты рабочей и проектной документации на строительство следующих объектов:

1. Многоэтажный жилой дом со встроенно-пристроенными предприятиями обслуживания населения и подземной автостоянкой поз. 68 на пересечении ул. Калинина и ул. Гайдара в третьем микрорайоне центральной части города Чебоксары.
2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения культуры Московского художественного академического театра (МХАТа) им. А.П. Чехова (по адресу: г. Москва, ЮАО, пересечение проспекта Андропова с ул. Нагатинской).
3. Жилой дом с инфраструктурой в районе ул. Грибоедова, д. 46 в городе Владивостоке.
4. Учебный корпус №1 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта» (по адресу: г. Омск, ЦАО, ул. Ленина, д. 2а).
5. Учебный корпус на 300 мест к ГБОУ СОШ №2007 (по адресу: г. Москва, ул. Горчакова, вл. 9, корп. 1).
6. Комплексная застройка многоэтажными жилыми домами на участке между ул. Волгоградская и автомобильной дорогой на селе Кочкурово (в районе реки Тавла) города Саранска.
7. Здание страхового товарищества «Саламандра» (постройки 1913–1914 годов) для размещения бюджетного учреждения культуры Омской области — Омского областного музея изобразительных искусств им. М.А. Врубеля (по адресу: г. Омск, ул. Музейная, д. 4).
8. Жилой комплекс «Яковлевская слобода» (стр. 3) в Ярославской области (Ярославский район, Пестрецовский сельский округ, посёлок Красный бор), и др.

Анализ предоставленных документов осуществлялся по следующим критериям:

- организационное и структурное представление проектных решений ИТП;
- размещение насосного оборудования;
- способ подключения системы ГВС;
- тип предусмотренного теплообменного оборудования;
- размещение устройств регулирования давления и расхода, обратных клапанов;
- характеристика оборудования для компенсации температурного расширения теплоносителя;
- характеристика предохранительных устройств;
- устройство и оборудование подпиточных линий;
- устройство опорно-подвесной системы оборудования ИТП;
- влияние содержания технических условий на подключение на оборудование ИТП;
- их возможная региональная специфика;
- функционал системы автоматизации ИТП.

В качестве основных нормативных документов выступали СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» и «Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок».

Результаты

Тепломеханические решения по ИТП в составе проектной и рабочей документации на объект капитального строительства чаще всего выполняются отдельной книгой. Наиболее полное содержание данной книги на стадии Р включает аксонометрические чертежи и состоит, например, из следующих листов:

- общие данные;
- общие указания;
- принципиальная схема ИТП;
- план расположения блоков и узлов технологического оборудования;
- план расположения трубопроводов;
- разрезы 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 и 5-5;
- узел ввода теплосети;
- блок теплообменника отопления;
- блок теплообменника вентиляции;
- блок теплообменника ГВС;
- блок насосов отопления;
- блок насосов вентиляции;
- блок насосов ГВС;
- аксонометрическая схема.

Эта книга может дополняться функциональной схемой автоматизации, либо базовые решения по автоматизации могут наноситься прямо на принципиальную схему. Книга, описывающая решения по автоматизации оборудования ИТП, как правило, приводится отдельно и фор-



Рис. 1. Внешний вид ИТП после его реконструкции и оснащения средствами автоматизации

мируется специалистом по автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУТП).

Данные на основное оборудование ИТП (обозначение типа/марки на каждое наименование) должны быть приведены в спецификации, расположение спецификации рядом с принципиальной схемой на одном листе существенно упрощает чтение чертежа.

Современные насосы способны эффективно работать как на подающем, так и на обратном трубопроводах. В связи с этим требования п. 3.7 СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов», как правило, игнорируются, и место установки смесительных насосов определяется маркой насоса и пожеланиями заказчика. Так, в учебном корпусе №1 Сибирского государственного университета физической культуры и спорта (СибГУФК) предполагается установка смесительных насосов на обратном трубопроводе после узла смешения, хотя располагаемый напор составляет более 20 м вод. ст. (рис. 1).

У любого размещения насосов есть достоинства и недостатки, которым обычно не уделяется должного внимания. К примеру, насос на обратном трубопроводе имеет несколько больший кавитационный запас и лучший теплоотвод от дви-

гателя с мокрым ротором. В то же время он перемещает воду с большей плотностью, тем самым увеличивая потребляемую мощность на валу насоса и, соответственно, энергопотребление относительно насоса, установленного на подающем трубопроводе [9] (рис. 2).

Альтернативой привычному насосу является смесительный насос, представляющий собой устройство (как и водоструйный насос-элеватор), не потребляющее электрическую энергию, а работающее от располагаемого напора теплосети. Такой тепловой пункт предполагает организацию импульсной циркуляции теплоносителя, приведённые в [10] временные диаграммы работы клапанов импульсного распределения потока и ударных клапанов свидетельствуют об эффективности такого решения.

Очевидно, что для обеспечения ГВС по закрытой схеме требуется теплообменное оборудование, а при применении независимой схемы — также дополнительные единицы водоподогревателей. В учебном корпусе на 300 мест в ГБОУ СОШ №2007, расположенном в Москве (ул. Горчакова, д. 9, корп. 1), для теплоснабжения системы вентиляции применены дополнительные пластинчатые теплообменники, позволяющие снизить параметры теплоносителя до 95/70 °С, а в учебном корпусе №1 СибГУФК нужды системы вентиляции обеспечиваются сетевой водой с параметрами теплоисточника 150/70 °С. Пластинчатые теплообменники устанавливаются на подающем большинстве новых и реконструируемых ИТП, оборудование кожухотрубного типа применяется лишь в пароводяных системах теплоснабжения (в том числе на тепловых источниках), их незначительная доля остаётся в зданиях 1970–1980-х годов постройки.

Современные насосы способны эффективно работать на подающем и на обратном трубопроводах. В связи с этим требования п. 3.7 СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов», как правило, игнорируются, и место установки смесительных насосов определяется маркой насоса и пожеланиями заказчика



❖ Рис. 2. Насос Grundfos Magna, оснащённый частотно-регулируемым приводом (ЧРП) и панелью управления на корпусе насоса

Возможная альтернатива пластинчатым теплообменникам в будущем — змеевиковые водоподогреватели [6]. Независимо от типа теплообменного оборудования лучший вариант с эксплуатационной точки зрения — применение разборного водоподогревателя [9].

Работа автоматизированного теплового пункта невозможна без устройств регулирования давления и расхода. При расчётном сопротивлении системы отопления, включая потери давления в тепловом пункте свыше 20–22 кПа, дополнительными автоматическими регуляторами также оборудуются стояки (лежаки) [1]. В учебном корпусе на 300 мест к ГБОУ СОШ №2007 сразу после узла учёта ставится регулятор перепада давления Danfoss

(рис. 3), а в учебном корпусе СибГУФК такой регулятор предусматривается перед узлом учёта.

В филиале Федерального государственного бюджетного учреждения культуры Московского художественного академического театра (МХАТа) им. А.П. Чехова в Москве и в ГБОУ СОШ №2007 устанавливается по регулируемому клапану перед каждым теплообменником.

Авторы [11] сообщают, что имеются источники, где основной характеристикой качества регулирования для клапана считается его внешний авторитет, который для клапанов с линейной характеристикой должен быть более 0,5. Однако, завышая максимальную пропускную способность клапана на 20%, как того



❖ Рис. 3. Регулирующий клапан Danfoss в помещении центрального теплового пункта (ЦТП)

требуют производители, проектировщик уменьшает внешний авторитет клапана и тем самым снижает качество регулирования системы.

Для установки оборудования внутри помещения ИТП должны применяться подвижные и неподвижные опоры, учитываться весовые нагрузки оборудования, заполненного теплоносителем, и температурные деформации. Однако проектная документация стадии Р школы №2007 Москвы требует уложить все трубопроводы на подвижные опоры ОПБ-2 по типовому чертежу 27-3-19-22, неподвижных опор не предусматривается, что недопустимо для расширительных баков и теплообменников.

Во многом наличие или отсутствие тех или иных единиц оборудования определяется не только требованиями заказчика, нормативно-технического регулирования и целесообразности, но и содержанием технических условий на подключение (присоединение) теплотребляющего оборудования, выдаваемых ресурсоснабжающей организацией. Например, на ИТП того же объекта предусматривается пробобортник с охладителем и шаровыми кранами до узла учёта, в филиале МХАТа им. А.П. Чехова в Москве вместо него — прибор автоматического контроля жёсткости «Дельта-М», установленный до узла учёта до аварийной перемычки по ходу движений сетевой воды. Требование на устройство измерителя жёсткости содержится в п.6 типовых технических условий на присоединение Московской объединённой энергетической компании (ПАО «МОЭК»).

С другой стороны, в условиях на подключение, выдаваемых, например, омскими теплоснабжающими организациями, подобных пунктов не содержится. ПАО «МОЭК», осуществляющее эксплуатацию крупнейшей в мире системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) города Москвы, и во многом другом является уникальной теплоснабжающей организацией в связи с тем, что:

- ❑ требует оснащение ИТП системой диспетчеризации;
- ❑ в нарушение СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» официально заявляет о наличии верхней срезки температурного графика;
- ❑ не осуществляет в летний период подачу ГВС по открытой тупиковой схеме [12], не требует в технических условиях наличия технической возможности;
- ❑ и наоборот — требует подключения системы отопления по независимой схеме независимо от гидравлического режима тепловой сети.

Другим неизменным атрибутом автоматизированного теплового пункта является АСУТП. Система автоматического управления системами отопления и ГВС, как правило, строится на базе щита ЩУТП с контроллером. Например, в московской ГБОУ СОШ №2007 по ул. Горчакова используется комплексный контроллер «Трансформер-SL», а в учебном корпусе №1 Сибирского государственного университета физической культуры и спорта — более простой Danfoss ECL Comfort 300. Отличие в том, что в автоматическом режиме управления система автоматизации ИТП на базе «Трансформер-SL» обеспечивает выполнение следующих функций и задач, невыполнимых при помощи устройств типа ECL:

- регулирование температуры воды в подающем трубопроводе системы вентиляции в соответствии с температурным графиком, в зависимости от температуры наружного воздуха, посредством управления электроприводом регулирующего клапана на трубопроводе теплосети перед теплообменником вентиляции;
- управление заполнением и подпиткой систем отопления и вентиляции посредством управления электроприводами клапанов на линиях подпитки систем по датчику (реле давления) в обратном трубопроводе соответствующей системы;
- поддержание заданного давления в подающем трубопроводе ГВС посредством регулирования производительности рабочего насоса, оснащённого ЧРП, по датчику давления в трубопроводе;
- поддержание заданного значения разности давления в подающем и обратном трубопроводах контуров отопления и вентиляции посредством регулирования производительности соответствующего рабочего насоса, оснащённого ЧРП, по датчикам давления в трубопроводах;
- сбор и передачу информации о параметрах работы и состоянии оборудования и систем индивидуального теплового пункта в систему диспетчеризации энергоснабжающей организации в соответствии с условиями подключения.

Методика Лю и др. [2] также базируется на интеллектуальном анализе данных (data mining), собираемых с ИТП, а её верификация была выполнена на базе СЦТ города Тяньцзинь (Китай). Традиционные преимущества диспетчеризации, такие как оперативный контроль за потреблением тепловой энергии и локализация повреждений в более короткий срок, очевидны, однако с развитием дистанционного сбора данных с датчиков расхода и температуры становится возможным даже контролировать потери давления на



оборудовании ИТП. Гуэляпа и др. [7] приводят методику, предполагающую программную реализацию и позволяющую в автоматическом режиме оценивать загрязнённость теплообменных аппаратов, внедрение которой на примере города Турина (Италия) даёт возможность снизить потребление топлива на 1,6 %.

Выполнено сравнение принятых проектных решений с требованиями СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» и выявлена их возможная региональная специфика

Заключение

Таким образом, разработка и выполнение всех вышеописанных мероприятий позволяет обеспечить бесперебойное тепло-, водоснабжение всех вновь подключаемых потребителей. В ряде проектов было выявлено дублирование элементов, например, устройство дополнительной подпиточной линии или байпасных линий насосных узлов, при условии наличия байпасных линий на стояках или приборных ветках двухтрубной системы отопления с переменным гидравлическим режимом. Они также не нужны, если система отопления имеет постоянный гидравлический режим, независимо от того, с терморегуляторами она или без них, однотрубная она или двухтрубная.

Было выполнено сравнение принятых проектных решений с требованиями СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» и выявлена их возможная региональная специфика. Сделан вывод о том, что выражения для определения условного диаметра и максимальной пропускной способности регулирующих клапанов и регуляторов давления известны, они получены из достоверных гидравлических выражений и одинаково представлены в различных пособиях.

При соблюдении рекомендаций по обеспечению запаса по расходу за счёт увеличения расчётной максимальной пропускной способности регуливающей арматуры на 20 % также происходит завышение её стоимости и снижение качества обеспечения коммунальных услуг. ●

1. Усиков С.М., Дютин В.В. Оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления на двухтрубных стояках системы водяного отопления с точки зрения возникновения шума // Известия КГАСУ, 2019. №2. С. 197–203.
2. Lu Y., Tian Z., Peng P., Niu J., Dai J. Identification and evaluation of operation regulation strategies in district heating substations based on an unsupervised data mining method. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 192.
3. Чичерин С.В. Анализ технологий отопления, вентиляции и кондиционирования для перехода на низко-температурное теплоснабжение // Строительство: наука и образование, 2019. Т. 9. Вып. 3. С. 1–20.
4. Смирнов В.В., Яворовский Ю.В., Сенин В.В. Экспериментальное подтверждение локализации переменных гидравлических режимов в тепловых пунктах с термодинамическим распределителем // Вестник ИГЭУ, 2018. №6. С. 5–14.
5. Чичерин С.В. Исследование причин необеспечения гидравлических режимов и возникновения переходных процессов в системах централизованного теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность, 2019. №15. С. 125–134.
6. Мартынов П.О., Ахмерова Г.М., Золотоносов Я.Д., Багоудина А.Г. Эффективность и перспективы применения секционного змеевикового водоподогревателя в системе индивидуального теплового пункта // Известия вузов. Строительство, 2018. №9. С. 66–74.
7. Guelpa E., Verda V. Automatic fouling detection in district heating substations: Methodology and tests. *Applied Energy*. 2020. Vol. 258.
8. Чичерин С.В. Варианты реконструкции системы централизованного теплоснабжения, направленные на поддержание теплогидравлических режимов // Журнал СОК, 2019. №12. С. 58–64.
9. Пытков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. — Киев: П ДП «Такі справи», 2007. 252 с.
10. Левцев А.П., Лапин Е.С., Бикунцова М.В., Салмин В.В. Конструктивные особенности и оценка работы оборудования для импульсной подачи теплоносителя // Региональная архитектура и строительство, 2018. №4. С. 151–158.
11. Сухоцкий А.Б. О правильном подборе и настройке регуливающей арматуры в тепловом пункте // Трубопроводная арматура и оборудование, 2018. №2. С. 54–55.
12. Липовка Ю.Л., Венин А.С., Михайлова А.С. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка, 2019. №6. С. 53–56.

References — see page 63.

Ensuring efficient building engineering services design complies with specifications, regulatory authorities and client requirements. Pp. 30–34.

Stanislav V. Chicherin, postgraduate student, the Department of Heat Power Engineering, Omsk State Transport University (Omsk city); **Andrey V. Zhuikov**, PhD, Associate Professor, the Department of Engineering Systems of Buildings and Structures, Institute of Civil Engineering of Siberian Federal University (Krasnoyarsk city)

1. S.M. Usikov, V.V. Djutin. *Otsenka neobkhodimosti ustanovki avtomaticheskikh reguljatorov perepada davlenija na dvuhtrubnyh stojakah sistemy vodjanogo otoplenija s točki zrenija vozniknovenija shuma* [Evaluation of the need to install automatic differential pressure regulators on two-pipe risers of the water heating system in terms of noise]. *Izvestija KGASU* [Bulletin of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. 2019. No. 2. Pp. 197–203.
2. Y. Lu, Z. Tian, P. Peng, J. Niu, J. Dai. Identification and evaluation of operation regulation strategies in district heating substations based on an unsupervised data mining method. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 202.
3. S.V. Chicherin. *Analiz tehnologij otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija dlja perehoda na nizkotemperaturnoe teplosnabzhenie* [Analysis of heating, ventilation and air conditioning technologies for the transition to low-temperature heat supply]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* ["Construction: science and education" Magazine]. 2019. Vol. 9. Issue 3. Pp. 1–20.
4. V.V. Smirnov, Ju.V. Javorovskij, V.V. Sennikov. *Jeksperimental'noe podtverzhenie lokalizacii peremennykh gidravlicheskih rezhimov v teplovych punktah s termogidravlicheskim raspreditelem* [Experimental confirmation of the localization of variable hydraulic modes in heat points with a thermo-hydraulic distributor]. *Vestnik IGJeU* [Bulletin of Ivanovo State Energy University]. 2018. No. 6. Pp. 5–14.
5. S.V. Chicherin. *Issledovanie prichin neobespečenija gidravlicheskih rezhimov i vozniknovenija perehodnykh processov v sistemah centralizovannogo teplosnabzhenija* [The study of the reasons for the lack of hydraulic regimes and the occurrence of transients in district heating systems]. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'* ["Construction and industrial safety" Magazine]. 2019. No. 15. Pp. 125–134.
6. P.O. Martynov, G.M. Ahmerova, Ja.D. Zolotonosov, A.G. Bagoutdinova. *Jefferektivnost' i perspektivy primenenija sekcionnogo zmeevikovogo vodopodogrevatelja v sisteme individual'nogo teplovogo punkta* [Efficiency and prospects of using a sectional coil water heater in the system of an individual heating unit. News of higher educational institutions]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo* [Journal of the Russian Universities. Series: Construction]. 2018. No. 9. Pp. 66–74.
7. E. Guelpa, V. Verda. Automatic fouling detection in district heating substations: Methodology and tests. *Applied Energy*. 2020. Vol. 258.
8. S.V. Chicherin. *Varianty rekonstrukcii sistemy centralizovannogo teplosnabzhenija, napravlennye na podderzhanie teplogidravlicheskih rezhimov* [Variants of the reconstruction of the district heating system, aimed at maintaining thermal-hydraulic regimes]. *Zhurnal San-tehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2019. No. 12. Pp. 58–64.
9. V.V. Pyrkov. *Sovremennye teplovye punkty. Avtomatika i regulirovanie* [Modern heat points. Automation and regulation. Kiev. II DP "Taki spravi" [The Second Subsidiary "Such things" Publishing and Printing Center]]. 2007. 252 p.
10. A.P. Levcev, E.S. Lapin, M.V. Bikunova, V.V. Salmin. *Konstruktivnye osobennosti i ocenka raboty oborudovanija dlja impul'snoj podachi teplonositelja* [Design features and evaluation of the equipment for pulsed coolant supply]. *Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo* ["Regional architecture and construction" Magazine]. 2018. No. 4. Pp. 151–158.
11. A.B. Suhockij. *O pravil'nom podbore i nastrojke regulirujushhej armatury v teplovom punkte* [On the correct selection and adjustment of control valves in the heating center]. *Truboprovodnaja armatura i oborudovanie* ["Pipe fittings and equipment" Magazine]. 2018. No. 2. Pp. 54–55.
12. Ju.L. Lipovka, A.S. Venin, A.S. Mihajlova. *Gidravlicheskij rezhim teplovoj seti pri perehode s otkrytoj na zakrytuyu sistemu teplosnabzhenija* [The hydraulic mode of the heating network during the transition from an open to a closed heating system]. *Jenergobezbezhenie i vodopodgotovka* ["Energy saving and water treatment" Magazine]. 2019. No. 6. Pp. 53–56.