

Энергосберегающие мероприятия в системе отопления учреждений здравоохранения

Введение

Проблема энергосбережения в административных помещениях является одной из наиболее актуальных в наше время, поскольку именно там энергетический ресурс расходуется менее рационально [1–3]. Согласно [4] в бюджетных учреждениях определён ряд обязанностей по проведению энергосберегающих мероприятий, за соблюдение которых предусмотрены поощрительные меры, а за несоблюдение — штрафные санкции.

В качестве исследуемого объекта рассматривается больница, которая состоит из четырёх лечебных помещений (стационар, поликлиника, хирургический корпус и врачебная амбулатория) и четырёх административно-хозяйственных помещений (здание администрации, гараж, общежитие, склад, столовая), общая площадь которых составляет 6868 м².

В Репьевской больнице теплоноситель подаётся по централизованной схеме отопления. Увы, централизованная система отопления в нашей стране является инертной: изменение температуры теплоносителя в источнике теплоты происходит с отставанием. К тому же централизованная система акцентируется на среднего потребителя, именно поэтому здания, которые находятся ближе всего к источнику, имеют завышенные показатели температуры теплоносителя. Когда температура воздуха на улице увеличивается, то для обеспечения комфорта приходится выпускать тепло. На сложившуюся ситуацию следует обратить внимание для того, чтобы добиться максимальной экономии.

Основная часть

Так как наш объект является частью социальной сферы, именно в нём имеются большие резервы экономии за счёт периода отсутствия людей в отапливаемом помещении. Мы получим большую выго-

В качестве исследуемого объекта рассматривается больница, которая состоит из четырёх лечебных и административно-хозяйственных помещений

ду, задав заниженные параметры обеспечения теплом и горячей водой, и при этом не нарушим комфорт в рабочее время.

Сэкономить на отоплении можно, установив в индивидуальном тепловом пункте здания системы автоматического регулирования тепла (САРТ). Целью предложенной системы является регулировка теплопотребления в здании в зависимости от реальных потребностей в данный период. Основные задачи САРТ:

1. Исключить подачу на объект теплоносителя с завышенными («перетопы») и с заниженными параметрами, а также определить оптимальные параметры теплоносителя в зависимости от температуры окружающей среды с минимальной инерцией. Корректировки предложенной системы происходят мгновенно.
2. Регулировать температуру теплоносителя в обратном трубопроводе теплосети, что помогает избежать штрафных санкций со стороны источника энергоснабжения за превышение установленной температуры. С помощью САРТ возможно ограничить забор теплоносителя из сети и запускать его повторно из обратного трубопровода до тех пор, пока его температура не достигнет нормы.
3. Экономить тепловую энергию за счёт понижения температуры в помещении в ночные часы, а также в праздничные и выходные дни.
4. Поддерживать заданный температурный режим здания с помощью датчиков, размещённых в контрольных помещениях. Это обеспечит комфортные условия для пациентов и персонала.

Рецензия эксперта на статью получена 30.05.2018 [Expert review on the article was received on May 30, 2018].

УДК 535.648.01

Энергосберегающие мероприятия в системе отопления учреждений здравоохранения

Д. Н. Васенин, студент магистратуры; **Е. А. Жидко**, к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности; **В. В. Бабенко**, аспирант, строительный факультет Воронежского государственного технического университета (ВГТУ)

В статье проведён анализ системы отопления в Репьевской больнице. Выявлены недостатки, подобран ряд энергосберегающих мероприятий, помогающих добиться максимального энергосбережения в системе отопления и обоснована их реальная эффективность. Рассмотрено внедрение системы автоматического регулирования в систему отопления исследуемого объекта. Предложена наиболее подходящая математическая модель системы автоматического регулирования зависящего присоединения системы отопления, а также вариант энергосбережения системы отопления при управлении приводом.

Ключевые слова: система автоматического регулирования тепла, энергосбережение, система отопления, математическая модель.

UDC 535.648.01

Energy saving actions in the heating system of the health care facility

D. N. Vasjonin, graduate student; **E. A. Zhidko**, PhD, Professor of the Department of fire and industrial security candidate of engineering science; **V. V. Babenko**, postgraduate student, Faculty of Construction of Voronezh state technical University (Voronezh city)

The article includes analysis of the heating system in Repyovka hospital. The weaknesses were identified and the complex of the energy saving actions was proposed in order to find the most efficient method of energy conservation in the heating system. The feasibility of that complex was substantiated. The article describes the introduction of the system of automatic regulation of the heat consumption in analyzed building. The most appropriate mathematical model of the system of automatic regulation of direct connection of heating system and the method of energy conservation in heating system using controlled drive were proposed.

Key words: system of automatic regulation of the heat consumption, energy conservation, heating system, mathematical model.

САРТ включает в себя датчики температуры, насосы, различные контроллеры, регулирующий клапан, а также аппаратуру связи (в случае управления на расстоянии). Анализ температуры осуществляется с помощью датчиков. После чего все данные передаются в центр управления системой. Контроллер снимает показания датчиков и отправляет информацию в регулирующий клапан в соответствии с заданной программой.

Важную роль в системе автоматического регулирования занимает блок управления. Он является центром автоматизации и позволяет:

- регулировать температурный режим помещения на каждый день недели, учитывая выходные дни;
- автоматически поддерживать установленный режим регулирования подачи теплоносителя;
- программно задавать конфигурацию системы регулирования тепла из набора типовых схем.

САРТ позволяет рационально использовать тепловую энергию и создаёт комфортные условия как для пациентов, так и для работников данного учреждения. Также в системе предусматривается техническая возможность выдачи сигналов в единый диспетчерский центр о выходе регулируемых параметров за пределы регулирования. Это значительно повышает её надёжность и минимизирует вероятность отказа системы и оборудования.

Экономический расчёт показал значительную выгоду от внедрения САРТ в Репьевской больнице. Понижение температуры воздуха в помещении составляет (рис. 1):

- в нерабочие дни $\approx 15\%$;
- в нерабочие часы $\approx 20\%$;
- исключение перетопов $\approx 5\%$.

Кроме экономии и комфортных условий, внедрение САРТ обеспечивает балансировку системы отопления, увеличивает срок эксплуатации оборудования системы теплоснабжения, повышает статус и уровень развития больницы и соответствует требованиям законодательства по энергосбережению [4–6]. Немаловажным фактором является и срок окупаемости САРТ, который составляет от полудня до двух лет. При этом срок службы оборудования при правильной эксплуатации весьма существенен — не менее 15 лет.

Дополнительно можно установить модуль коммерческого учёта потребляемой энергии в тепловом пункте. После чего мы платим за реальное теплopotребление, а не расчётное, и, таким образом, снижаем расходы на отопление. Исходя из опыта установки модулей учёта тепла на объектах социального назначения, средняя экономия в течение отопительного периода может составлять до 40% [7].

Рассмотрим математическую модель управления системой отопления для Репьевской больницы. Которая показывает, как функционирует зависимая схема присоединения системы отопления со смешением воды (рис. 2). Предлагаемая конструкция состоит из подающего 1 и обратного 2 трубопроводов, регулирующие клапаны с энергоприводом V1 3 и V2 4, смесительный насос N 5, тепловую нагрузку (обогреваемое помещение) R 6, САР 7, датчики температуры отопляемого помещения 8, наружного воздуха 9, теплоносителя 10. Рассмотрим номинальный режим работы схемы на рис. 2.

Горячая вода подаётся на клапан V1 из подающего трубопровода, который отрегулирован для её подачи на тепловую нагрузку R и создания номинальной температуры в обогреваемом помещении.

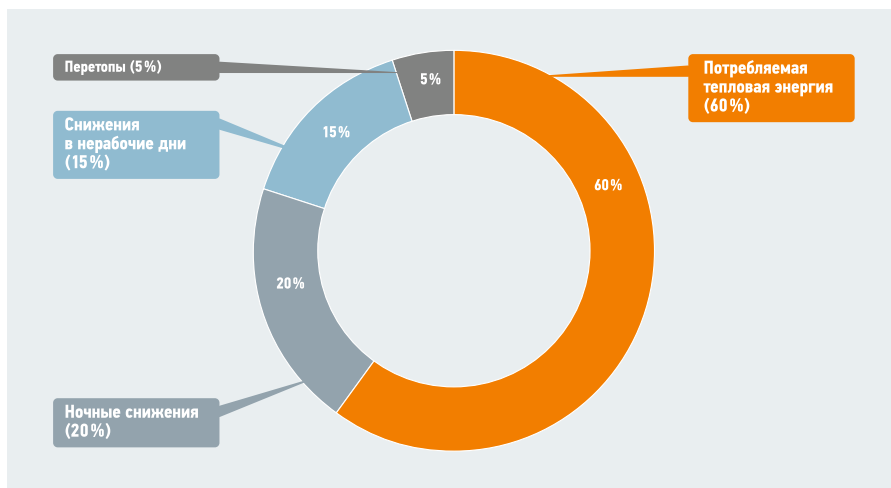


Рис. 1. Выгода от внедрения CAPT

Далее в точке А она «запитывает» контур А–R–В–А тепловой нагрузки R с помощью смесительного насоса N, обеспечивает непрерывный тепловой поток горячей воды через клапан V2. Отдавшая часть тепла вода остывает в контуре и попадает в обратный трубопровод и возвращается во внешнюю подающую систему. Насос N, работая в номинальном режиме с постоянной частотой оборотов вала, проталкивает через клапан V2 постоянную порцию охлажденной воды из контура А–R–В–А. Если температура наружного воздуха снижается, CAP пропорционально увеличивает открытие клапана V1 и, соответственно, прикрывает клапан V2, что приводит к увеличению порции тепла, подаваемого на тепловую нагрузку R. Если температура наружного воздуха возрастает, CAP пропорционально прикрывает клапан V1 и открывает клапан V2, что приводит к уменьшению порции тепла, подаваемого на тепловую нагрузку R.

Схему (рис. 2) можно улучшить, убрав из неё питающий клапан V2 и перенеся его функции на смесительный насос N (рис. 3). Тогда наша система автоматического регулирования будет реагировать на смену температуры наружного воздуха,

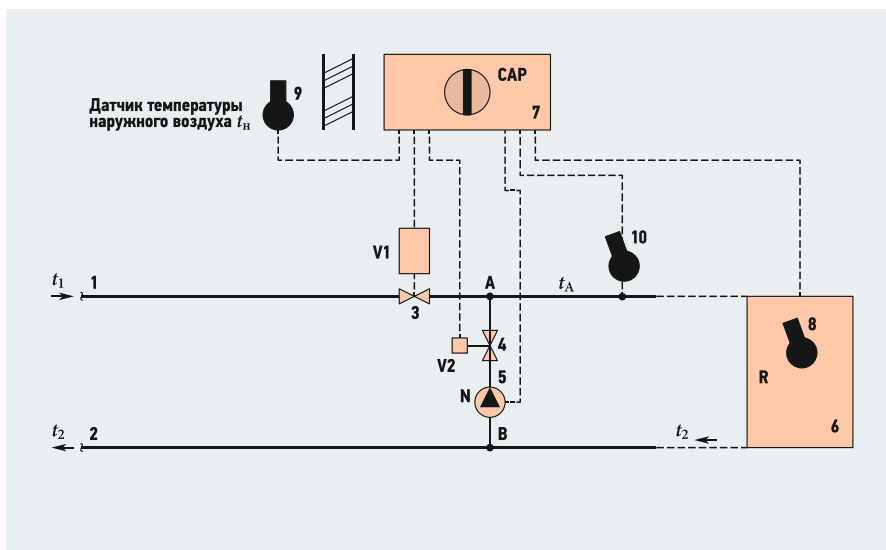


Рис. 2. Вариант функционирования зависимой схемы присоединения системы отопления со смешением воды

контролируя частоту оборотов вала N и управляя входным клапаном V1 (рис. 3). На рис. 3 представлена более простая и менее дорогостоящая схема функционирования системы отопления.

Разберём процесс теплообмена в системе отопления, а также перечислим его основные параметры: t_1 и t_2 — температуры подающего и обратного трубопроводов,

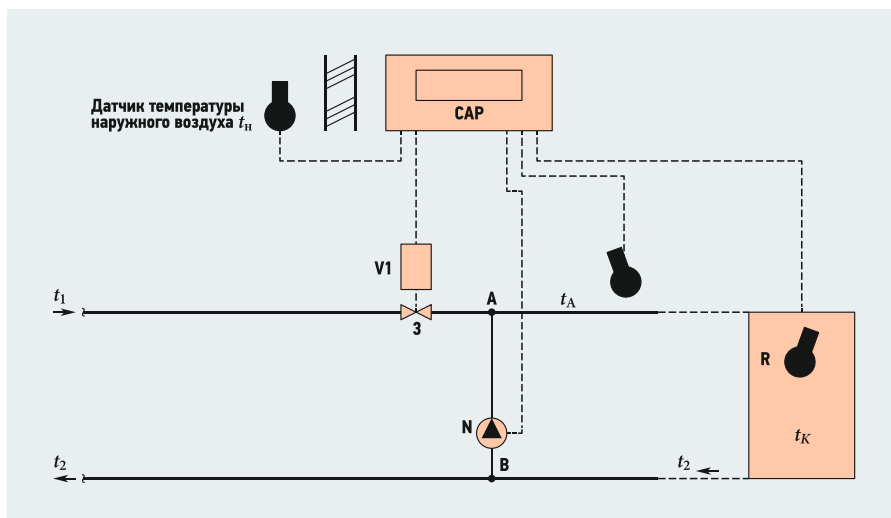


Рис. 3. Вариант функционирования схемы системы отопления со смешением воды

Система автоматического регулирования тепла позволяет рационально использовать тепловую энергию и создаёт в здании больницы комфортные условия как для пациентов, так и для работников данного учреждения. В системе предусмотрена возможность выдачи сигналов в единый диспетчерский центр о выходе регулируемых параметров за пределы регулирования

t_K , t_K и t_n — температура воды за точкой А в контуре А–R–В–А, температура в обогреваемом помещении и температура наружного воздуха, K_1 и K_N — доля полного открытия клапана V1 и коэффициент полной производительности смесительного насоса N; k — коэффициент теплопередачи фасадного ограждения, Вт/(м²·°C); G_1 , G_2 , G_N и G_K — расходы воды в подающем и обратном трубопроводах, смесительном насосе N, отопляемом помещении (тепловой нагрузке R), кг/ч; Q_1 , Q_2 , Q_N , Q_K , $Q_{об}$ и Q_M — тепловые потоки, переносимые в подающем и обратном трубопроводах, смесительном насосе N, отопляемом помещении (тепловой нагрузке R); $Q_{об}$ — тепловой поток от оборудования, Q_M — тепловой поток от других источников тепловыделения, Вт; F — площадь поверхности обогреваемого помещения (тепловой нагрузки R), м² [8].

Также отметим, что в номинальном режиме ко всем индексам будет добавлена буква «Н».

В нашем случае общий входной тепловой поток $Q_{вх}$ расходится на суммарный выходной тепловой поток $Q_{вых}$.

При установке смесительных насосов для систем отопления, рекомендуемых в соответствии с требованиями [9], на перемычке между подающим и обратным трубопроводами (напор — на 2–3 м больше потерь давления в системе отопления) следует определять подачу насоса (расход воды) G_N .

В соответствии с правилами, при установке смесительных насосов для систем отопления на перемычке между обратным и подающим трубопроводом следует определять расход воды, то есть подачу насоса G_N .

Перечислим некоторые параметры, применяемые в нашей схеме: удельная теплоёмкость воды $c = 4,266$ кДж/(кг·°C) при температуре $t_1 = 130^\circ\text{C}$; t_1 и t_2 — температура подающего и обратного теплопроводов, °C; u — коэффициент смешения; t_A — температура воды за точкой А в контуре А–R–B–А, °C.

Также важно отметить, что осуществление номинального процесса отопления происходит в стационарном режиме, то есть в контуре отопления значения (расход жидкости, тепловой поток) остаются неизменными с течением времени.

Учтём, что тепловые потоки пропорциональны соответствующим расходам ($Q_1 \sim G_1$, $Q_N \sim G_N$).

Тёплая вода проходит через вентиль V1 с долей полного открытия K_1 , затем прокачивается через контур А–R–B–А с тепловой нагрузкой R с помощью смесительного насоса N, работающего с коэффициентом полной производительности K_N .

Тепловой поток Q_K , переносимый по контуру А–R–B–А, передаётся в тепловую нагрузку R (отапливаемое помещение), создавая в нём номинальную температуру $t_K = 20^\circ\text{C}$. При стационарном режиме он посредством теплопередачи передаётся через твёрдую стенку ограждения [10].

Учитывая все условия, мы придём к выводу, что:

$$K_N = \frac{G_4}{1,1u K_1 Q_1} - 1 \frac{1}{1,1u}. \quad (1)$$

Упростим формулу (1), введя новые обозначения:

$$\frac{G_4}{1,1u Q_1} = a, \quad \frac{1}{1,1u} = b.$$

Придём к зависимости, связывающей коэффициенты:

$$K_N = \frac{a}{K_1} - b, \quad (2)$$

где $a > 0$, $b > 0$, $0 < K_1 < a/b$.

Из формулы (2) следует, что коэффициенты K_N и K_1 связаны обратной пропорциональной зависимостью, причём с ростом температуры наружного воздуха t_n соответствующая кривая семейства приближается к оси абсцисс и пересекает её в точке a/b .

На рис. 4 кривым I, II и III соответствуют температуры $t_{n1} < t_{n2} < t_{n3}$. Отметим, что величина Q_1 для номинального режима известна и хранится в памяти системы автоматического регулирования.

Рассмотрим один из возможных вариантов энергосбережения при помощи математической модели. Проведя анализ формулы (2), мы получили зависимость между K_1 и K_N , которая позволяет управлять электроприводами клапана V1 и смесительного насоса N. Очевидно, что при данном перепаде температур t желательно, чтобы расход тепла в системе отопления был минимален.

В этом случае получим:

$$F(K_1, K_N) = F(K_1) = K_1 + \frac{a}{K_1} - b \rightarrow \min, \quad (3)$$

Исследуем функцию $F(K_1)$ на локальный экстремум:

$$\frac{dF(K_1)}{dK_1} = 1 - \frac{a}{K_1^2} \Rightarrow \frac{dF(K_1)}{dK_1} = 0,$$

Если $1 - a/K_1^2 = 0$, тогда $K_{11} = -\sqrt{a}$, $K_{12} = \sqrt{a}$ — критические точки первого рода. Если учесть, что $K_1 > 0$, то остаётся $K_{12} = \sqrt{a}$. Из рис. 5 следует, что имеет локальный минимум в точке $K_{12} = \sqrt{a}$, причём $F(\sqrt{a}) = 2\sqrt{a} - b$.

Определим:

$$\frac{d^2F(K_1)}{dK_1^2} = \left(1 - \frac{a}{K_1^2}\right)' = \frac{2a}{K_1^3} > 0.$$

График функции $F(K_1)$ изображён выпуклостью вниз на полуинтервале $(0; 1]$, точек перегиба не имеет (рис. 6).

Выводы

Разработан ряд энергосберегающих мероприятий, которые не только будут способствовать экономии теплоэнергии, но и помогут повысить уровень комфортности больницы, что благоприятно скажется на пациентах и работниках учрежде-

ния. Обоснован более простой вариант управления процессом отопления.

Применена математическая модель управления системой отопления для Репьевской больницы, в которой подробно описаны значения, позволяющие получить минимальный расход тепла, что поможет добиться высокого уровня экономии энергосбережения в системе отопления. При таком варианте теплоснабжения один из управляющих клапанов (V2) может быть исключён, а его функции теплорегулирования перенесены на кла-

пан V1 и смесительный насос N. Это позволяет сократить производственные затраты на обеспечение теплом и упрощает управление САПР этим процессом.

Путём внедрения САПР в отопительную систему Репьевской больницы экономия теплоэнергии составит до 40%, тем самым установка системы окупается менее чем за два года. На данный момент это является оптимальным решением, так как наше предложение не только повысит уровень энергоэффективности объекта, но и выведет больницу на новый уровень в применении передовых технологий, что однозначно повысит её рейтинг и привлечёт дополнительные инвестиции. ●

Рис. 4. Зависимость K_N от K_1

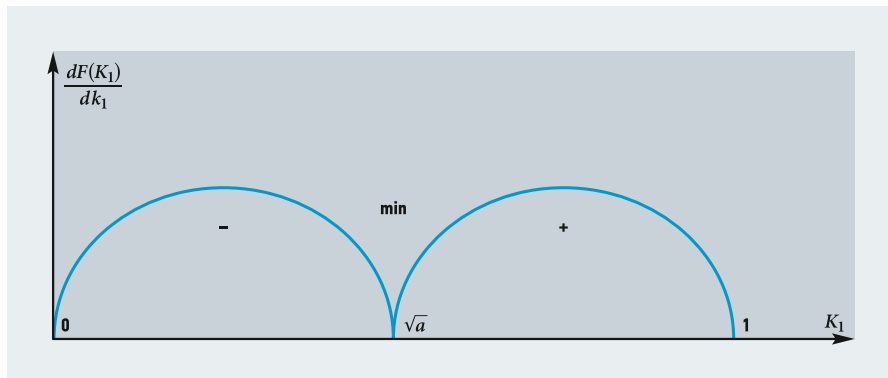
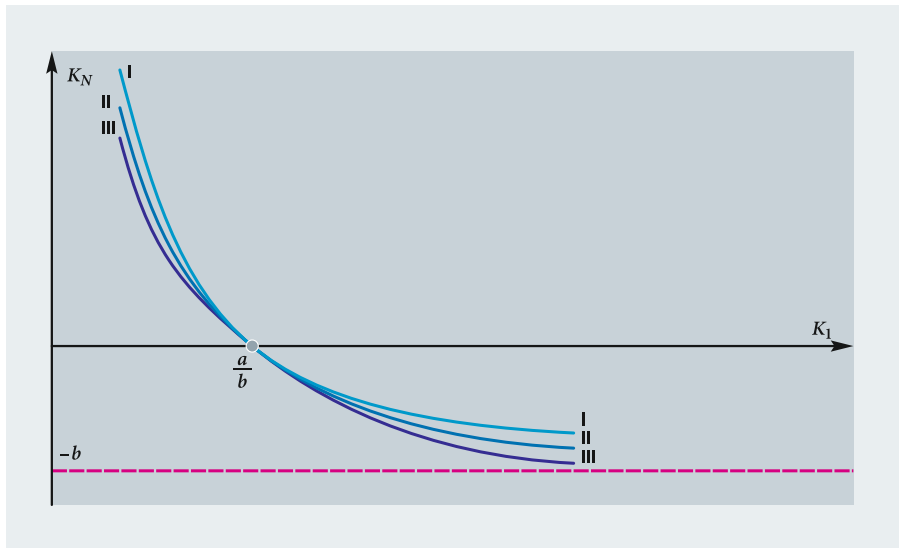


Рис. 5. Условия локального минимума

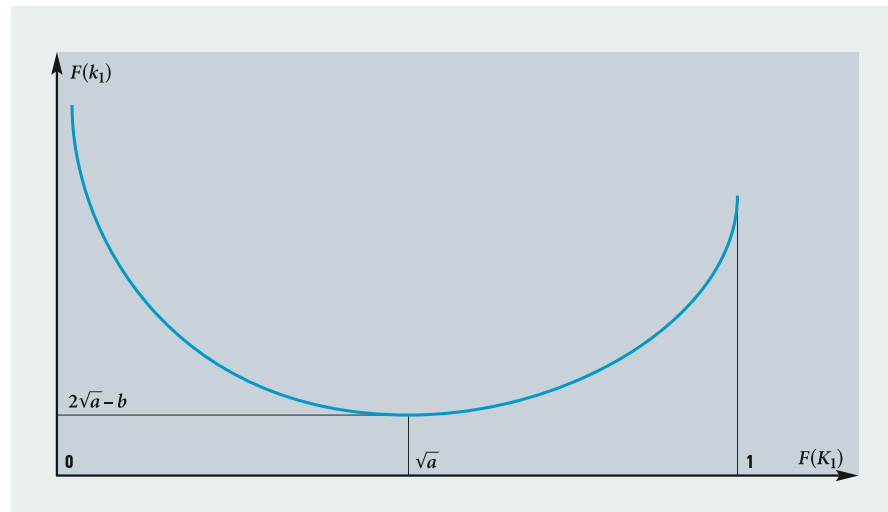


Рис. 6. Зависимость $F(K_1)$ на полуинтервале $(0; 1]$

1. Кравченко В.М. Текущее состояние отрасли теплоснабжения: Доклад Минэнерго России. — М., 2016.
2. Стенников В.А., Паламарчук С.И., Головщиков В.О. Создание эффективных розничных рынков электрической и тепловой энергии — важнейшая задача отечественной электроэнергетики // Энергетик, 2018. №2. С. 3–6.
3. Ливчак В.И. Энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения на новом этапе развития // Энергосбережение, 2014. №2. С. 4.
4. Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (посл. ред.).
5. Кузник И.В., Колубков А.Н., Ильин Е.Т., Белов В.М., Михайлов М.А., Плехов А.Г., Гричевский И.Л., Гусев М.А., Гун В.А., Белов А.П., Шеин И.С., Клоушников Н.Н. Методы повышения энергоэффективности в централизованном теплоснабжении // Журнал С.О.К., 2017. №10. С. 56–59.
6. Еремкин А.И., Баканов С.В. Отопление. Современные отопительные приборы для зданий и сооружений: Учеб. пос. — Пенза, 2016. 224 с.
7. Баканова С.В., Устимкина И.В. Энергосберегающие мероприятия при эксплуатации котельной // Новосты науки и образования, 2017. Т. 2. №9. С. 5–8.
8. Стенников В.А., Пеньковский А.В. Математическое моделирование теплоснабжающих систем в условиях несовпадающих интересов: Сб. тр. конф. «Мелентьевские чтения». — М.: ИНИИ РАН, 2017. С. 56–58.
9. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. Утв. Минстроем РФ. Введ. 01.07.1996. — М.: ГУП ЦПП, 1997. 111 с.
10. Фёдоров С.С., Кобелев Н.С., Тютюнов Д.Н. Математическая модель управления приводом системы отопления зданий и сооружений: Сб. тр. 15-й Межд. науч.-техн. конф. — Харьков: НПК «ФЭД», 2009. References — see page 92.

Energy saving actions in the heating system of the health care facility.
Pp. 58–62.

D. N. Vasjonin, graduate student, Faculty of Construction; **E. A. Zhidko**, PhD, Professor of the Department of fire and industrial security candidate of engineering science; **V. V. Babenko**, postgraduate student, Voronezh state technical University (Voronezh city)

1. Kravchenko V.M. *Tekushhee sostojanie otrasli teplosnabzhenija: Doklad Minjenergo Rossii* [Current state of the heat supply industry: Report of the Ministry of Energy of Russia]. Moscow. 2016.
2. Stennikov V.A., Palamarchuk S.I., Golovshnikov V.O. *Sozdanie jeffektivnyh roznichnyh rynkov jelektricheskoy i teplovoj jenerгии — vazhnejshaja zadacha otechestvennoj jelektroenergetiki* [Creation of efficient retail markets for electric and heat energy is the most important task of the domestic electric power industry]. *Jenergetik* ["Power Engineer" Magazine]. 2018. No. 2. Pp. 3–6.
3. Livchak V.I. *Jenergoberezhenie v sistemah centralizovannogo teplosnabzhenija na novom jetape razvitiya* [Energy saving in the systems of centralized heat supply at a new stage of development]. *Jenergoberezhenie* ["Energy saving" Magazine]. 2014. No. 2. P. 4.
4. Federal'nyj zakon ot 23.11.2009 [Federal Law of Russia of November 23, 2009] No. 261-FZ. "Ob jenergoberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v ot del'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii" ["On energy conservation and on improving energy efficiency and on introducing amendments to certain legislative acts of the Russian Federation"] (last ed.).
5. Kuznik I.V., Kolubkov A.N., Il'in E.T., Belov V.M., Mihajlov M.A., Plehov A.G., Grichevskij I.L., Gusev M.A., Gun V.A., Belov A.P., Shein I.S., Kljushenkov N.N. *Metody povyshenija jenergojeffektivnosti v centralizovannom teplosnabzhenii* [Methods of increasing energy efficiency in centralized heat supply]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing. Heating. Ventilation]. 2017. No. 10. Pp. 56–59.
6. Eremkin A.I., Bakanov S.V. *Otoplenie. Sovremennye otopitel'nye pribory dlja zdaniy i sooruzhenij: Ucheb. pos.* [Modern heating appliances for buildings and structures: Educational book]. Penza. 2016. 224 p.
7. Bakanova S.V., Ustimkina I.V. *Jenergoberegajushhie meroprijatija pri jekspluatacii kotel'noj* [Energy-saving measures during boiler house operation]. *Novosti nauki i obrazovanija* [News of science and education]. 2017. Vol. 2. No. 9. Pp. 5–8.
8. Stennikov V.A., Pen'kovskij A.V. *Matematicheskoe modelirovanie teplosnabzhajushhih sistem v uslovijah nesovpadajushhih interesov: Sb. tr. konf. "Melent'evskie chtenija"* [Mathematical modeling of heat supply systems in conditions of mismatching interests: Proc. of the Conference "Melentiev Readings"]. Moscow. *INJeI RAN* [Energy Research Institute of Russian Academy of Sciences]. 2017. Pp. 56–58.
9. SP [Code of practice on design and construction] 41-101-95. *Proektirovanie teplovyh punktov* [Designing of heat points]. Approved by the Ministry of Construction of the Russian Federation. Enabled from July 01, 1996. Moscow. GUP CPP [State Unitary Enterprise "Centre of Construction Design Products"]. 1997. 111 p.
10. Fedorov S.S., Kobelev N.S., Tjutjunov D.N. *Matematicheskaja model' upravljenija privodom sistemy otoplenija zdaniy i sooruzhenij: Sb. tr. 15-j Mezhd. nauch.-tehn. konf.* [Mathematical model of drive control of the heating system of buildings and structures: Proc. of the 15th International Scientific and Technical Conference]. Har'kov: NPK "FJeD" ["FED", PJSC]. 2009.