



Рис. 8. Применение водопропускных каналов в дорожном строительстве

## ВЫВОДЫ

В статье представлен точечный алгоритм построения синусоидального цилиндра с эвольвентной осью на основе метода подвижного симплекса. Для получения такого алгоритма были приведены точечные уравнения круговой синусоиды и эвольвенты окружности, полученные по графическим алгоритмам построения кривых. На основании приведенных точечных уравнений кривых был разработан алгоритм, который дает возможность описывать гидротехнические сооружения с плавными очертаниями.

Разработанные в работе модели плавных контуров гидротехнических сооружений, и построенные для них точечные аналитические уравнения кривых, существенно расширяют сферу применения метода подвижного симплекса в практике инженерных расчетов, что позволяет получать эффективные решения в гидротехническом строительстве.

## Список литературы

1. Балюба, И. Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: диссертация на соискание научной степени доктора технических наук: 05.01.01 [Текст] / Балюба Иван Григорьевич. – Макеевка: МИСИ, 1995. – 227 с.
2. Малютина, Т. П. Интерпретация вычислительной геометрии плоских фигур в точечном исчислении: диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.01.01 [Текст] / Малютина Татьяна Петровна. – Макеевка: МИСИ, 1998. – 161 с.
3. Конопацкий, С. В. Геометричне моделювання алгебраїчних кривих та їх використання при конструюванні поверхонь у точковому численні Балюби-Найдиша: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.01.01 [Текст] / Конопацкий Євген Вікторович. – Макіївка: ДонНАБА, 2012. – 163 с.
4. Давыденко, И. П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса: диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.01.01 [Текст] / Давыденко Иван Петрович. – Макеевка: ДОННАСА, 2012. – 164 с.

5. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – 608 с.
6. Конопацкий, С. В. Конструювання системи спеціальних плоских кривих типу «синусоїда» методом узагальнених тригонометричних функцій / Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 3. Том 12. – Иваново: Маркова А. Д., 2013. – ЦИТ: 313-0698. – С. 76-80.
7. Малютина, Т. П. Точечное уравнение эвольвенты и его применение при конструировании поверхностей технических форм методом подвижного симплекса [Текст] / Т. П. Малютина, И. П. Давыденко // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / МОН України; ДонНАБА. – Макіївка, 2015. – Вип. 2015-3(113): Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій. – С. 66-69.
8. Малютина, Т. П. Построение эллиптического цилиндра с эвольвентной осью методом подвижного симплекса [Текст] / Т. П. Малютина, И. П. Давыденко, Ж. В. Старченко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: Сборник научных трудов / МОН Украины; ДонНАСА. – Макеевка, 2017. – Вып. 2017-3(125): Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 62-66.
9. Крысько, А. А. Анализ напряженно-деформированного состояния стенки резервуара с геометрическими несовершенствами при действии гидростатической нагрузки / Крысько А. А. // Металлические конструкции. – 2017. – Т. 23, №3 – С. 97-106.

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЯ ЗДАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. А. Олексюк, д.т.н., профессор; А. В. Плужник, аспирант; Б. В. Кляус, аспирант

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы энергоэффективной эксплуатации систем водяного отопления зданий общественного назначения. Проанализированы действующие нормы по обеспечению требуемого микроклимата в помещениях зданий общественного назначения. Выполнен мониторинг температурно-влажностного режима в общественном помещении, на основании которого предложены рекомендации по применению энергосберегающих мероприятий. Проанализированы задачи энергосберегающих мероприятий, позволяющие минимизировать затраты тепловой энергии при эксплуатации систем водяного отопления. Выявлено, что удельную энергоёмкость систем отопления в общественных зданиях необходимо снижать путем использования автоматически управляемых режимов снижения тепловой мощности отопления в нерабочее время, используя так называемый режим периодического отопления. Также в комплексе с режимом периодического отопления рекомендуется эксплуатировать индивидуальные тепловые пункты (ИТП) и автоматические терморегуляторы систем водяного отопления.

**Ключевые слова:** энергосбережение, периодическое отопление, тепловая мощность, инерционность здания, индивидуальный тепловой пункт.



Олексюк  
Анатолій Алексеевич



Плужник  
Анастасія Вадимівна



Кляус  
Богдан Валентинович

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В условиях рыночной экономики и значительно повышения цен на энергоресурсы большое значение приобретает задача эффективного использования тепловой энергии в системах теплоснабжения зданий. В настоящее время большинство существующих систем отопления общественных зданий работают практически в неконтролируемом режиме. В свою очередь нагревательные приборы в течение длительного времени выделяют большое количество избыточной теплоты, что ведет к увеличению температуры внутреннего воздуха в помещениях выше нормируемых величин, то есть к снижению теплового комфорта, а также к перерасходу энергоресурсов. При этом отсутствие индивидуальных средств учета и регулирования потребления тепла и воды, негерметичность наружных ограждающих конструкций, потери в теплотрассах приводят к тому, что абонент дополнительно оплачивает 30...40% за потери от потребленных энергоресурсов [1].

Большинство общественных зданий не работает в ночной и вечерний период. В выходные дни помещения пустуют, а отопление работает в обычном рабочем режиме, что не целесообразно с точки зрения оптимального использования энергоресурсов.

Некоторые системы отопления оснащены устройствами автоматического ночного понижения температуры, что приводит к ощутимой экономии энергоресурсов, но данные системы практически не задействованы в связи с их высокой стоимостью.

Такой массовый потребитель как школы, детские сады, поликлиники, клубы, проектные организации, районные и городские администрации, различного рода конторы и другие здания общественного назначения не в состоянии

приобрести дорогостоящее оборудование. По этой причине возможность реализации систематического снижения теплотребления общественными зданиями в ближайшие годы становится маловероятна.

Однако, другой возможности существенно уменьшить теплотребление существующих зданий нет. До недавнего времени перспективы снижения энергоресурсопотребления были связаны с погодным регулированием. Учитывая потери тепла на теплотрассах, неизолированную запорную арматуру и периодические аварийные ситуации, даже с учетом погодного регулирования температурный режим большинства котельных не отвечает требуемым нормативным величинам.

Современные требования к проектированию систем отопления направлены на повышение эффективности их эксплуатации. Обязательна разработка и внедрение систем автоматического управления с привлечением новейших результатов теоретических и прикладных исследований для оптимального решения задач определения и управления процессами теплотребления. Зачастую известные в литературе модели и алгоритмы управления температурными режимами зданий получены путем использования ряда серьезных упрощений, вследствие чего они недостаточно точны и имеют ограниченную область применения, или же напротив, модели имеют настолько сложную структуру, что становятся практически неприемлемыми для целей регулирования. В связи с этим необходимо решить ряд задач с учетом физики процессов и настройки моделей на практике с последующей разработкой оптимальных алгоритмов управления микроклиматом в зданиях общественного назначения [1].

**ЦЕЛЬ**

Анализ температурно-влажностного режима в помещении здания общественного назначения, разработка рекомендации по внедрению энергоэффективных мероприятий периодического отопления в соответствии с действующими нормативными документами.

На сегодняшний день проблема энергосбережения приобрела статус приоритетной задачи. Это обусловлено как не контролируемым расходом энергоресурсов, так и постоянным ростом их стоимости. Исследованиям энергоэффективного управления тепловыми режимами зданий посвящено много работ таких авторов как: Кирпичникова И. М., Aste N., Del Pero C., Burman E., Mumovic D., Kimprian J., Ascione F., Sarto L., Carrascal E. [2-7].

Согласно [8] в зданиях общественного назначения в нерабочее время суток температуру внутреннего воздуха в помещениях разрешается поддерживать ниже нормируемой. Благодаря этому появляется возможность значительно снизить расход энергии в системах отопления. Для большинства общественных, учебных, офисных, административно-бытовых зданий нерабочее время может составлять в среднем до 40% в будние дни и до 100% в выходные и праздничные [9].

Комплексный подход по решению энергоэкономических мероприятий включает в себя:

- повышение эффективности отдельных элементов системы;
- выбор оптимальной мощности источников тепла;
- оптимизацию параметров тепловой схемы;
- оптимизацию режимов тепловой нагрузки зданий и др.

Обеспечить оптимизацию режимов тепловой нагрузки зданий при периодическом снижении температуры внутреннего воздуха в помещении позволит реализация так называемого периодического отопления, однако для получения максимального эффекта необходимо решить задачу оптимального управления данной технологией.

Задача при использовании периодического отопления должна решаться совместно с вопросами тепловых режимов зданий. При этом важным условием является согласование режимов работы источника тепла и системы отопления здания [11].

Как отмечают авторы [12-14], использование периодического отопления (программного отпуска тепла) для административных, учебных, офисных зданий является перспективным способом получения дополнительного экономического эффекта.

Использование данного вида отопления позволяет, в первую очередь, значительно снизить энергоресурсопотребление при отопительных нагрузках [15].

Однако одной из возможных проблем при понижении температуры в нерабочее время является выпадение конденсата на внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции [16]. Данный процесс происходит вследствие смещения плоскости возможной конденсации в толще наружной ограждающей конструкции ближе к внутренней.

Согласно нормативно-техническому документу [17] в холодный период года допускается снижать показатели микроклимата в нерабочее время общественных зданий, принимая температуру внутреннего воздуха помещений ниже нормируемой, но не ниже 12°C.

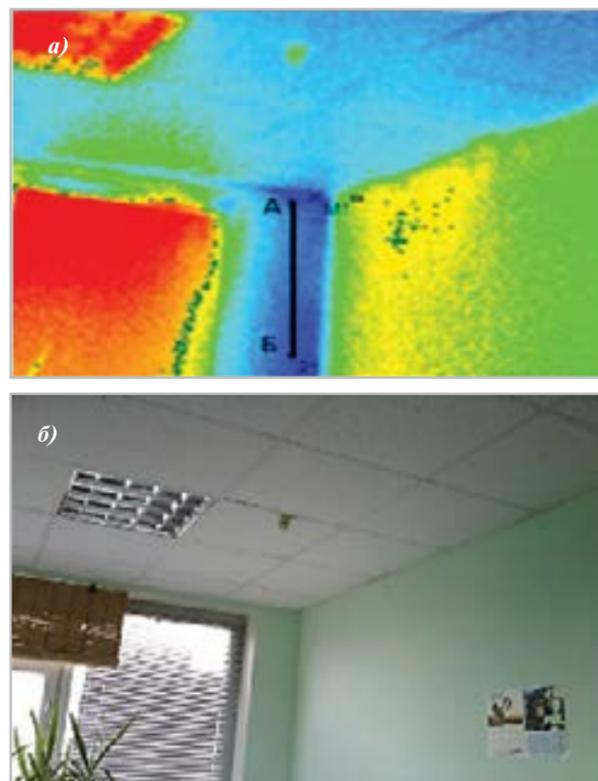


Рис. 1. Термографическое обследование внутренней поверхности ограждающей конструкции стены (инфракрасное изображение) а) фактическое изображение; б) инфракрасное изображение; А-Б отрезок температурного профиля

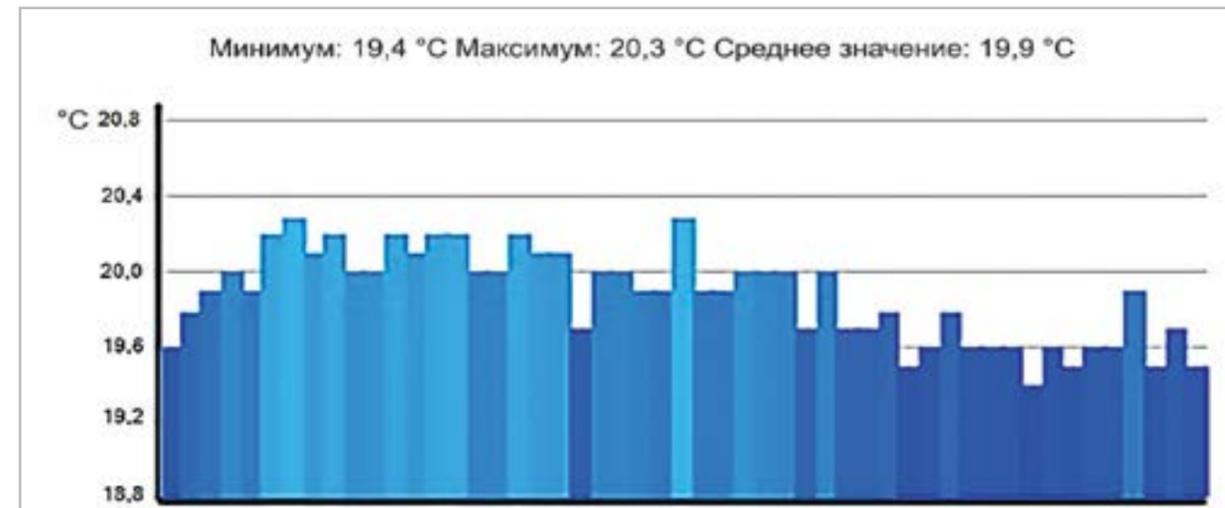


Рис. 2. Гистограмма распределения температур вдоль выбранного отрезка температурного профиля

Для проверки данных нормативно-технического документа [17] в климатических условиях региона Донбасса был произведен мониторинг параметров микроклимата в помещении здания общественного назначения Калининского района г. Донецка. В соответствии с [18] средняя отопительная температура воздуха в г. Донецк составляет -0,5°C, в момент измерений температура наружного воздуха составляла -1,0°C. В обследуемом помещении была произведена термографическая съемка с использование тепловизора Testo 868. Результаты термографической съемки показаны на рис. 1 (а, б).

При использовании программного обеспечения IRSoft было проанализировано температурное поле на внутренней поверхности ограждающей конструкции. В соответствии с рис. 1а для отрезка температурного профиля А-Б была построена гистограмма распределения температуры, представленная на рис. 2.

В соответствии с [19] помещение относится к категории За: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды, допустимая температура воздуха в которых в среднем принимается 21°C.

Относительная влажность воздуха внутри помещения составляет  $\phi_v = 55\%$ . Следовательно, можно определить температуру, при которой на внутренней поверхности ограждающей конструкции будет наблюдаться выпадение конденсата.

Для определения возможной конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции используются данные таблицы М 2 [17].

В соответствии с таблицей М 2 [17] максимальная упругость водяных паров при температуре внутреннего воздуха в помещении  $t_{в} = 21^\circ\text{C}$  составляет  $E_v = 2488 \text{ Па}$ .

Действительная упругость водяных паров определяется по формуле

$$e = \frac{\phi \cdot E_s}{100}, \text{ Па}, \quad (1)$$

где  $\phi_v$  — относительная влажность воздуха внутри помещения, %;

$E_v$  — парциальное давление при температуре внутреннего воздуха в помещении, Па.

Согласно формуле (1) действительная упругость водяных паров составит

$$e = \frac{55 \cdot 2488}{100} = 1368 \text{ Па}.$$

Относительная влажность воздуха  $\phi$  составит 100%, при условии максимальной действительной упругости водяных паров при данной температуре, это возможно при достижении давления насыщения водяных паров.

Согласно таблице М 2 [17] температура точки росы для действительной упругости водяных паров составит

$$e = 1368 \text{ Па} \Rightarrow t_{r,p} = 11,06^\circ\text{C}.$$

В следствие, согласно нормативно-техническому документу [17], снижение температуры внутреннего воздуха возможно до 12°C. От длительности режима периодического отопления и установленной мощности системы отопления будет зависеть, выйдет ли система на ограничение по внутренней температуре. Чем продолжительнее нерабочий период, и чем выше установленная тепловая мощность, тем больше вероятность выхода на ограничение по температуре внутреннего воздуха. Так же стоит учитывать тепловую инерцию здания, которая напрямую зависит от материала, из которого здание сделано. За короткий промежуток времени, при котором будет уменьшена тепловая мощность системы отопления, температура внутреннего воздуха в помещении может снизиться незначительно.

Значительная способность аккумулировать тепло, а затем постепенно отдавать его, имеется у ограждающих конструкций из бетона и кирпича.

Здание с бетонными ограждающими конструкциями медленно нагревается, а затем при выключенном отоплении медленно остывает, отдавая тепло от стен воздуху внутри помещения. Низкая или высокая тепловая инерционность не является положительным или отрицательным свойством, но ее необходимо учитывать.

Здание с высокой тепловой инерционностью сглаживает влияние быстрой смены климатических условий окружающей здание среды.

Следовательно, важно учитывать теплофизические свойства материалов ограждающих конструкций здания. Чем меньше термическое сопротивление наружной

ограждающей конструкции, тем меньше температура на ее поверхности [20].

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что режим работы периодического отопления зависит от:

- изменения климатических условий окружающей среды;
- тепловой инерционности здания;
- теплофизических свойств материалов наружных ограждающих конструкций;
- формирующегося микроклимата внутри помещений здания.



Рис. 3. Автоматический терморегулятор системы водяного отопления

Для достижения максимальной энергоэффективности дополнительно рекомендуется устанавливать автоматические терморегуляторы (рис. 3), которые позволяют:

- поддерживать комфортные температуры в отапливаемых помещениях на уровне, задаваемом самим потребителем;
- экономить до 20% тепловой энергии и средств на ее оплату путем использования для отопления бесплатных теплопритоков в помещения (от солнечной радиации, людей, электробытовых приборов и т. д.) и задания потребителем оптимальных температур воздуха в помещениях в течение суток;
- улучшить экологическое состояние воздушного бассейна в населенных пунктах за счет снижения выбросов в атмосферу продуктов сгорания топлива, используемого для выработки теплоты [21, 22].

При теплоснабжении здания от центральных тепловых сетей подача тепла осуществляется согласно разработанному температурному графику на котельной, в соответствии с которым температура теплоносителя в тепловой сети зависит от температуры наружного воздуха. Имеет место срезка



Рис. 4. Индивидуальный тепловой пункт (ИТП)

температурного графика, ниже которой температура в тепловой сети не регулируется. График качественного регулирования тепловых сетей рассчитан на характеристики усредненного здания с радиаторной системой отопления. Вместе с тем, теплотехнические характеристики конкретного здания могут выгодно отличаться от усредненных характеристик, поэтому применение периодического отопления приведет к экономии тепловой энергии.

При реализации периодического отопления предпочтение отдается зданиям с индивидуальными тепловыми пунктами (ИТП) (рис. 4), так как появляется возможность регулировать тепловую мощность системы отопления в конкретном здании в зависимости от его назначения и режима работы. ИТП – это комплекс установок, предназначенных для распределения тепла, поступающего из тепловой сети, между потребителями в соответствии с установленными параметрами теплоносителя [23].

Преимущество ИТП состоит в том, что отсутствуют потери тепла при его эксплуатации, есть возможность автоматического поддержания параметров системы отопления и потребитель способен самостоятельно регулировать температуру на выходе, что ощутимо сокращает расходы на тепловую энергию. В результате экономия тепловой энергии составляет порядка 20...30% [24]. Для повышения энергоэффективности потребляемой тепловой энергии в зданиях и сооружениях так же проводят мероприятия по утеплению стен здания и установке современных стеклопакетов. Но экономический эффект от проведения данных мероприятий будет неполным, если не скорректировать температурный график с учетом соответствия фактической производительности приборов отопления [25]. Это возможно только при использовании автоматизированного индивидуального теплового пункта и режима периодического отопления.

### ВЫВОД

Удельную энергоемкость систем отопления в общественных зданиях необходимо снижать путем использования автоматически управляемых режимов снижения тепловой мощности отопления в нерабочее время, используя режим периодического отопления. Также в комплексе с режимом периодического отопления рекомендуется

эксплуатировать индивидуальные тепловые пункты (ИТП) и автоматические терморегуляторы систем водяного отопления.

### Список литературы

1. Кувшинов, Г. Г. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения: Учеб. пособие / Г. Г. Кувшинов, Ю. Л. Крутский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 119 с.
2. Кирпичникова, И. М. Повышение качества регулирования систем электроотопления / И. М. Кирпичникова, Е. Л. Файда, А. Ю. Усков, Т. Ю. Никонова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Челябинск: Энергетика, 2012. – № 37. – Р. 87-89.
3. Aste, N. Energy retrofit of commercial buildings: case study and applied methodology / N. Aste, C. Del Pero // Energy Efficiency. – 2013. – Т. 6. – № 2. – Р. 407-423.
4. Burman, E. Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings / E. Burman, D. Mumovic, J. Kimpian // Energy, 2014. – Т. 77. – Р. 153-163.
5. Ascione, F. A new methodology for cost-optimal analysis by means of the multi-objective optimization of building energy performance // Energy and Buildings. – 2015. – Т. 88. – Р. 78-90.
6. Sarto, L. Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy // Energy and Buildings. – 2013. – Т. 67. – Р. 298-308.
7. Carrascal, E. Optimization of the heating system use in aged public buildings via model predictive control // Energies. – 2016. – Т. 9. – № 4. – Р. 251.
8. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (с Изменением №1). – М.: Минстрой России, 2016. – 95 с.
9. Малявина, Е. Г. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты / Е. Г. Малявина, Р. Р. Асатов // Academia. Архитектура и строительство. – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2010. – № 3. – С. 324-327.
10. Тверской, М. М. Постановка задачи оптимального управления тепловым режимом здания при комбинированной системе отопления / М. М. Тверской, Д. В. Румянцева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Челябинск: Энергетика, 2012. – № 23. – С. 16-20.
11. Панферов, В. И. Эффективные энергосберегающие решения при теплоснабжении зданий / В. И. Панферов, Е. Ю. Анисимова, С. В. Панферов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Челябинск: Энергетика, 2015. – Т. 15. – № 4. – С. 40-48.
12. Панферов, В. И. К решению проблемы энергосбережения при теплоснабжении зданий / В. И. Панферов, Е. Ю. Анисимова, С. В. Панферов // Строительство и экология: теория, практика, инновации. Челябинск: ПИРС, – 2015. – С. 56-59.
13. Парамонова, Е. Ю., Елистратова, Ю. В., Семенов, А. С. Проблема перетопов и недотопов в отопительный период / Е. Ю. Парамонова, Ю. В. Елистратова, А. С. Семенов // Современные наукоемкие технологии. Пенза: ООО «Информационно-технический отдел Академии Естественных наук», – 2013. – № 8. – С. 48-50.
14. Панферов, С. В. Некоторые проблемы энергосбережения и автоматизации в системах теплоснабжения зданий /

15. С. В. Панферов, А. И. Телегин, В. И. Панферов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Челябинск: Энергетика, – 2010. – № 22 (198). – С. 79-86.
16. Гершкович, В. Ф. О возможности практической реализации регулирования теплопотребления зданий методом периодического прерывания потока теплоносителя // Новости теплоснабжения. – К: ЗНИИЭП, 2000. – № 10. – С. 16 – 23.
17. Анисимова, Е. Ю. Программное обеспечение для расчета оптимального режима прерывистого отопления зданий // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2014. – № 1. – С. 66-72.
18. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Актуализированная редакция СП 3-101-2000. – М.: Минстрой России, 2004. – 139 с.
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Строительная климатология. – К.: Минрегионстрой Украины, 2011. – 123 с.
20. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 11 с.
21. Tyutikov, V. V. Analysis of energy efficiency from the use of heat-reflective window screens in different regions of Russia and France / V. V. Tyutikov, N. N. Smirnov, D. A. Lapateev // Procedia Engineering. Chelyabinsk: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING, 2016. – Т. 150. – С. 1657-1662.
22. Alamin, Y. I. An economic model-based predictive control to manage the users' thermal Wan K. K. W. et al. Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates / Y. I. Alamin // Building and Environment. – 2011. – Т. 46. – № 1. – С. 223-234.
23. Коляр, М. Alternative to the conventional heating and cooling systems in public buildings / М. Коляр // Journal of Mechanical Engineering. – 2010. – Т. 56. – № 9. – С. 575-583.
24. Олексюк, А. А. Оценка работы системы теплоснабжения от индивидуальных тепловых пунктов с подогревательно-аккумуляторными установками / А. А. Олексюк, И. Г. Шитикова, Н. В. Долгов // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2013. – № 1. – С. 146-155.
25. Олексюк, А. А. Теплообменные процессы, протекающие между теплоносителем и нагреваемой водой в ПАУ с трехконтурным теплообменником на ИТП / А. А. Олексюк // Современные проблемы строительства. – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО «Лебедь», 2000. – Т. 1. – С. 110-115.
26. Олексюк, А. А. Оценка эффективности работы систем теплоснабжения от ИТП с ПАУ при помощи термодинамического и эксергетического анализа / А. А. Олексюк // Современные проблемы строительства: Ежег. науч. техн. сб. – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО «Лебедь», 2002. – Т. 2. – С. 158-163.