

В. Н. Ханнанова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ

Ключевые слова: регулирование температуры, теплопотери, теплопередача, тепловая энергия, тепловой баланс.

Разработана математическая модель системы регулирования температуры внутри помещения. Модель учитывает температуру наружного воздуха, температуру теплоносителя. Определены основные теплопотери помещения. Записана передаточная функция помещения. Проведено моделирование с использованием программы MatLab.

Keywords: temperature regulation, heatlosses, heat transfer, thermal energy, thermal balance.

The mathematical model of the system room temperature regulation is developed. The model takes into account temperature of external air, heat carrier temperature. The main heatlosses of the room are defined. Transfer function of the room is written down. Modeling with MatLab program use is carried out.

Введение

В холодное время года человек, находясь в помещении, ограждаемом со всех сторон от более холодного наружного воздуха, вынужден поддерживать внутри помещения такую температуру воздуха, которая обеспечивала бы чувство комфорта

Для поддержания температуры воздуха на заданном уровне система отопления должна выделять в помещение определенное количество тепла. Для этого необходимо получить тепло и передать его помещению. Вследствие этого система отопления состоит из следующих трех основных элементов: устройства для получения тепла (генератор тепла); устройства для транспортирования тепла от места получения его до отапливаемого помещения (теплопроводов); устройства, обеспечивающего передачу помещению подведенного к нему тепла (нагревательных приборов).

Регулирование отпуска тепла в системах теплоснабжения осуществляется в источниках тепла, центральных тепловых пунктах, а непосредственно у потребителя регулирование, как правило, не осуществляется. В водяных системах теплоснабжения обычно производится так называемое качественное регулирование подачи тепла. Оно заключается в изменении температуры теплоносителя в соответствии с принятым температурным графиком.

Существует несколько ступеней регулирования климатических условий в отапливаемом помещении:

- 1) установка регулятора с постоянной температурой;
- 2) установка регулятора с температурой по графику;
- 3) установка регулятора по датчику комнатного воздуха и по графику одновременно;
- 4) установка регулятора по температуре наружного воздуха, по графику, по программе с отдельным управлением контурами системы отопления.

Чем больше будет установлено ступеней регулирования, тем эффективнее работает вся

система теплоснабжения. Немаловажным фактором в вопросе энергосбережения является инерционность системы отопления. При наличии большой протяженности теплосетей и большом объеме теплоносителя, время реагирования всей системы на изменение климатических условий очень продолжительно, что наблюдается при централизованном теплоснабжении. Автономные котельные решают эту проблему. Время реакции автоматики и котельной на изменения погоды доходят до минут. В этом случае достигается экономия на энергоносителях.

Вопросы моделирования процессов теплообмена в различных средах рассматриваются в [1-5], однако анализ этих публикаций показывает, что не уделяется внимание вопросам теплообмена внутри помещений. В связи с этим становится актуальной задача разработки математической модели системы регулирования температуры внутри помещения.

Целью данной работы является разработка математической модели системы регулирования температуры внутри помещения.

Исходные параметры для моделирования

Обогреваемое помещение имеет размеры $3 \times 3,5 \times 2,5$ м.

Ограждающая конструкция представляет собой кирпичную стену толщиной 640 мм с внутренней известковой штукатуркой. Толщина штукатурки 15 мм. Коэффициенты теплопроводности: для внутренней известковой штукатурки $\lambda = 0,6$ ккал/м час град; для кирпичной кладки на тяжелом растворе $\lambda = 0,7$ ккал/м час град. Сопротивление теплопереходу R_b для внутренних поверхностей стен, полов, а также потолков, имеющих гладкую поверхность составляет $0,133 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал}$. Сопротивление теплопереходу для поверхностей, соприкасающихся непосредственно с наружным воздухом (наружные стены, бесчердачные покрытия и прочие) составляет $0,05 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал}$ [6].

Удельная теплоемкость воздуха
 $c_B = 1,005 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{C}$.

Пусть в помещении установлен чугунный радиатор М-140 из пяти секций. Поверхность нагрева одной секции для данного типа радиатора составляет $0,254 \text{ м}^2$ [6].

Температура в помещении должна поддерживаться на уровне 18°C .

Моделирование проводилось с использованием программы *MatLab*.

Определение потерь тепла отапливаемыми помещениями

В холодный период года, когда наружная температура ниже внутренней температуры помещений, в наружных ограждениях здания возникает тепловой поток, направленный наружу.

Для поддержания в помещениях более или менее стабильной температуры необходимо непрерывно компенсировать отоплением количество теряемого тепла. Основные теплопотери помещений слагаются из теплопотерь через отдельные ограждения, определяемых по формуле:

$$Q = F_{\text{ок}} \cdot \frac{1}{R_{\text{ок}}} (t_B - t_H) \text{ ккал/час,}$$

где Q – теплопотери через ограждение в ккал/час;
 $F_{\text{ок}}$ – площадь ограждающей конструкции в м^2 ;
 $R_{\text{ок}}$ – сопротивление теплопередаче конструкции ограждения в $\text{м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C/ккал}$; t_B – температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$; t_H – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$. [7]

Ограждения бывают однородными и многослойными.

Величину сопротивления теплопередаче многослойного ограждения $R_{\text{ок}}$ определяют по формуле:

$$R_{\text{ок}} = R_B + R_1 + R_2 + \dots + R_n \text{ м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C/ккал.}$$

где R_B – сопротивление теплопередаче у внутренней поверхности ограждения; R_1, R_2 – термические сопротивления отдельных слоев ограждения; R_n – сопротивление теплопередаче у наружной поверхности ограждения.

Термическое сопротивление однородного ограждения или слоя, входящего в состав многослойного ограждения, должно вычисляться по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \text{ м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C/ккал,}$$

где δ – толщина слоя в м; λ – коэффициент теплопроводности материала в $\text{ккал/м час } ^\circ\text{C}$.

Температура воздуха t_B , которую система отопления должна обеспечить внутри помещения, зависит от назначения помещения и степени интенсивности работы, выполняемой человеком.

Зимой хорошее самочувствие человека, находящегося в состоянии покоя или во время

работы, не связанной с затратой мускульной силы, обеспечивается при температуре $+18...+20^\circ\text{C}$ при условии, что температура поверхности пола будет ниже температуры помещения не более чем на $1,25-2,5^\circ\text{C}$ [6].

Помимо основных теплопотерь существуют также добавочные теплопотери через ограждающие конструкции, которые учитывают: ориентацию ограждения по сторонам света, наличие в помещении двух и более наружных стен, высоту помещений, воздействие ветра на ограждения и охлаждение через открываемые двери [7].

В целях упрощения расчетов будем учитывать только основные теплопотери.

Расчет нагревательных приборов

Теплоотдача нагревательного прибора Q может быть определена из выражения:

$$Q = k_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_B) \text{ ккал/час,}$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопередачи нагревательного прибора в $\text{ккал/м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C}$; $F_{\text{пр}}$ – площадь поверхности нагревательного прибора в м^2 ; $t_{\text{пр}}$ – средняя температура теплоносителя в приборе; t_B – температура воздуха в помещении.

Средняя температура теплоносителя в приборе по схеме сверху вниз определяется по формуле:

$$t_{\text{пр}} \approx \frac{t_1 + t_2}{2},$$

где t_1 и t_2 – температура теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводе.

Температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе зависит от температуры наружного воздуха и температурного графика тепловой сети, и может быть определена по отопительным графикам.

Для домового отопления используются графики 105/70 и 95/70, где в числителе указана температура теплоносителя в подающем трубопроводе, в знаменателе – температура теплоносителя в обратном трубопроводе.

Регулирование температуры воздуха в обогреваемом помещении

Анализ регулирования температуры воздуха в обогреваемом помещении можно описать дифференциальным уравнением. Чтобы упростить анализ процесса, представим себе такой идеальный процесс, когда обогреваемое помещение или здание – однородное тело, температура которого во всех точках одинаковая.

Тепловая энергия, подводимая в помещение Q , расходуется на нагревание самого помещения $Q_{\text{пом}}$ и на покрытие расхода тепловой энергии через ограждающие конструкции $Q_{\text{ок}}$, то есть

$$Q = Q_{\text{пом}} + Q_{\text{ок}}.$$

За бесконечно малый отрезок времени энергия, подведенная в помещение

$$Qdt,$$

расходуется на нагревание самого помещения на dt градусов:

$$G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}} dt$$

и на покрытие расхода энергии через ограждающие конструкции

$$k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}} \cdot \Delta t_{\text{в}} dt.$$

Получим дифференциальное уравнение теплового баланса обогреваемого помещения:

$$Qdt = G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}} dt + k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}} \cdot \Delta t_{\text{в}} dt,$$

где $F_{\text{ок}}$ - площадь поверхности ограждающих конструкций; τ - время; $G_{\text{пм}}$ - масса помещения; $c_{\text{пм}}$ - удельная теплоемкость; $k_{\text{ок}}$ - коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций; $\Delta t_{\text{в}}$ - температурный напор, $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$, $t_{\text{в}}$ - температура воздуха в помещении; $t_{\text{н}}$ - температура наружной среды [8].

Преобразуем полученное уравнение:

$$\begin{aligned} Qdt &= G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}} \frac{dt}{d\tau} + k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}} \cdot \Delta t_{\text{в}} \frac{d\tau}{d\tau} \\ \frac{Qdt}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} \cdot \frac{d\tau}{dt} &= \frac{G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}}}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} \frac{dt}{d\tau} + \Delta t_{\text{в}}, \\ \frac{Q}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} &= T_{\text{пм}} \frac{dt}{d\tau} + t_{\text{в}} - t_{\text{н}}, \\ \frac{Q}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} + t_{\text{н}} &= T_{\text{пм}} \frac{dt}{d\tau} + t_{\text{в}}. \end{aligned}$$

где Q - тепловая энергия, подводимая в помещение; $T_{\text{пм}}$ - постоянная времени обогреваемого

помещения, $T_{\text{пм}} = \frac{G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}}}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}}.$

Из данного уравнения получим передаточную функцию обогреваемого помещения:

$$W(p)_{\text{пм}} = \frac{\frac{Q}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} + t_{\text{н}}}{T_{\text{пм}} \cdot p + 1}.$$

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1) нагревание и охлаждение помещений зависят не только от количества тепла, подводимого в помещение. Эти процессы зависят также и от массы помещения. Постоянная времени $T_{\text{пм}}$ у зданий тем больше, чем больше масса, теплоемкость и чем меньше теплопроводность их внутренних и наружных ограждающих конструкций, то есть внутренних и наружных стен, перегородок, перекрытий и так далее;

2) понижение температуры воздуха в помещении после выключения отопления происходит тем медленнее, чем выше температура наружного воздуха [8].

Структурная схема разомкнутой системы регулирования температуры

Из выше сказанного можно выделить основные уравнения, необходимые для построения структурной схемы:

$$\begin{cases} \frac{Q}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} + t_{\text{н}} = T_{\text{пм}} \frac{dt}{d\tau} + t_{\text{в}}; \\ T_{\text{пм}} = \frac{G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}}}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}}. \end{cases}$$

Передаточная функция обогреваемого помещения:

$$W(p)_{\text{пм}} = \frac{\frac{Q}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} + t_{\text{н}}}{T_{\text{пм}} \cdot p + 1}.$$

Пусть температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = -10^\circ \text{C}$. Тепловая сеть работает по температурному графику 95/70. Зная температуру наружного воздуха и температурный график тепловой сети, можно узнать какая температура должна быть в подающем и обратном трубопроводах. В сети *Internet* был найден отопительный график, по которому температура в подающем и обратном трубопроводах при выбранных условиях составляет $65,3^\circ \text{C}$ и $51,7^\circ \text{C}$ соответственно [9].

Рассчитаем параметры обогреваемого помещения.

Объем помещения составляет:

$$V_{\text{пм}} = 3 \cdot 3,5 \cdot 2,5 = 26,25 \text{ м}^3.$$

Масса помещения:

$$G_{\text{пм}} = V_{\text{пм}} \cdot \rho_{\text{в}} = 26,25 \cdot 1,29 = 33,86 \text{ кг}.$$

Площадь ограждающей конструкции:

$$F_{\text{ок}} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ м}^2.$$

Величина сопротивления теплопередаче для многослойного ограждения:

$$R_{\text{ок}} = R_{\text{в}} + R_1 + R_2 + R_{\text{н}} = 0,133 + \frac{0,015}{0,6} + \frac{0,64}{0,7} + 0,05 =$$

$$= 1,12 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал}.$$

Коэффициент теплопередачи ограждения:

$$k_{\text{ок}} = \frac{1}{R_{\text{ок}}} = \frac{1}{1,12} = 0,89 \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}.$$

1 ккал=4,19 Дж, тогда

$$k_{\text{ок}} = \frac{0,89 \cdot 10^3 \cdot 4,19}{1} = 3,72 \text{ кДж/м}^2 \text{ час град}.$$

Постоянная времени обогреваемого помещения:

$$T_{\text{пм}} = \frac{G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}}}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} = \frac{33,86 \cdot 1,005 \cdot 10^3}{3,72 \cdot 10^3 \cdot 7,5} = 1,2 \text{ час}.$$

Теперь необходимо определить тепловую энергию, поступающую в помещение от нагревательного прибора.

Средняя температура теплоносителя в приборе:

$$t_{\text{пр}} \approx \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{65,3 + 51,7}{2} = 58,5^\circ \text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи радиатора М-140 при разности между средней температурой теплоносителя и температурой помещения $40 \div 45^\circ \text{C}$ равен $26,4 \text{ кДж/час м}^2 \text{ град}$ [7].

Площадь поверхности нагревательного прибора:

$$F_{\text{пр}} = 5 \cdot 0,254 = 1,27 \text{ м}^2.$$

Теплоотдача нагревательного прибора:

$$Q = k_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{в}}) = 3352 \cdot (405) = 13577 \text{ кДж}$$

Построим структурную схему в среде *MatLab* (рисунок 1).

Результаты моделирования для температуры воздуха $t_{\text{в}}$ показаны на рисунке 2.

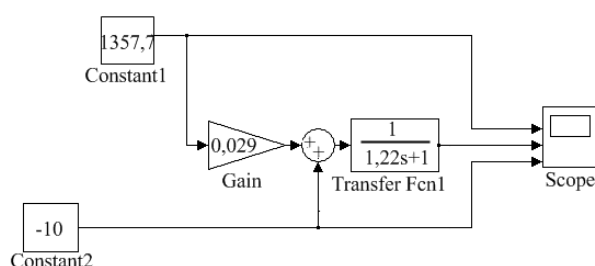


Рис. 1 - Структурная схема разомкнутой системы регулирования температуры в среде *MatLab*

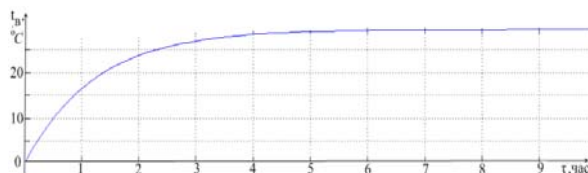


Рис. 2 - Результаты моделирования для температуры воздуха $t_{\text{в}}$

Определим показатели качества переходного процесса для $t_{\text{в}}$:

1) перегулирование

$$\sigma = \frac{t_{\text{в. max}} - t_{\text{в. уст}}}{t_{\text{в. уст}}} \cdot 100\% = \frac{29,3 - 29,3}{29,3} \cdot 100\% = 0;$$

2) время переходного процесса

$$t_{\text{п.п}} = 4,65 \text{ час}.$$

Из рисунка 2 видно, что установившееся значение температуры воздуха в помещении составляет $29,3^\circ \text{C}$, что значительно превышает необходимую температуру 18°C . Следовательно, необходимо ввести контур регулирования температуры воздуха в помещении.

Структурная схема замкнутой системы регулирования температуры

Регулирование будет осуществляться при помощи термостата. Если отклонение от заданной температуры будет превышать $\pm 2^\circ \text{C}$, то сигнал на выходе термостата равен единице, в противном случае - равен нулю. Для реализации данного способа регулирования в схеме на рисунке 1, необходимо сформировать обратную связь по температуре воздуха в помещении.

Согласно постановлению Правительства РФ от 6 мая 2011 г. N 354 "О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов" отопительный период должен начинаться или заканчиваться со дня, следующего за днем окончания 5-дневного периода, в течение которого соответственно среднесуточная температура наружного воздуха ниже 8°C Цельсия или среднесуточная температура наружного воздуха выше 8°C Цельсия.

Представим, что температура наружного воздуха в течение 182 дней принимает значения от $+8^\circ \text{C}$ до $+8^\circ \text{C}$ с промежуточным минимальным значением -35°C . Например 1 октября температура наружного воздуха составляла $+8^\circ \text{C}$, 30 декабря на улице было -35°C , а 1 апреля температура наружного воздуха опять достигла отметки $+8^\circ \text{C}$. Таким образом мы можем представить температуру наружного воздуха периодической функцией, поскольку нам известен период ее изменения, а также максимальное и минимальное значение. Теперь необходимо задать тепловую энергию, поступающую от нагревательного прибора. Определим теплоотдачу радиатора для $t_{\text{н}} = +8^\circ \text{C}$ и $t_{\text{н}} = -35^\circ \text{C}$.

При $t_{\text{н}} = -35^\circ \text{C}$ температура в подающем и обратном трубопроводах составляет 95°C и 70°C соответственно. [9] Средняя температура теплоносителя в приборе:

$$t_{\text{пр}} \approx \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5^\circ \text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи радиатора М-140 при разности между средней температурой теплоносителя и температурой помещения $60 \div 65^\circ \text{C}$ равен $30,2 \text{ кДж/час м}^2 \text{ град}$. [7] Теплоотдача нагревательного прибора в этом случае

$$Q = k_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{в}}) = 384 \cdot (625) = 2397 \text{ кДж}.$$

При $t_{\text{н}} = +8^\circ \text{C}$ температура в подающем и обратном трубопроводах составляет $41,2^\circ \text{C}$ и $35,8^\circ \text{C}$ соответственно. [9] Средняя температура теплоносителя в приборе:

$$t_{\text{пр}} \approx \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{41,2 + 35,8}{2} = 38,5^\circ \text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи радиатора М-140 при разности между средней температурой теплоносителя и температурой помещения $20,5^\circ \text{C}$ в

справочниках не указан. Однако существует метод В. М. Гусева, суть которого заключается в следующем. Если известен коэффициент $k_{64,5}$ нагревательного прибора при разности между средней расчетной температурой теплоносителя и воздухом помещения $\frac{95 + 70}{2} - 18 = 64,5$, то коэффициент k для любой другой разности температур Δt может быть найден из выражения

$$k = k_{64,5} \sqrt[n]{\frac{\Delta t}{64,5}},$$

где показатель степени n для радиаторов равен 3 [7].

Найдем коэффициент k :

$$k = 30,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{20,5}{64,5}} = 20,6 \text{ кДж/час м}^2 \text{ град.}$$

Теплоотдача нагревательного прибора в этом случае

$$Q = k_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{в}}) = 2616 \cdot (205) = 5363 \text{ кДж.}$$

Составим структурную схему в среде *MatLab* (рисунок 3).

Результаты моделирования для температуры воздуха в помещении $t_{\text{в}}$, в зависимости от температуры наружного воздуха $t_{\text{н}}$ представлены на рисунке 4.

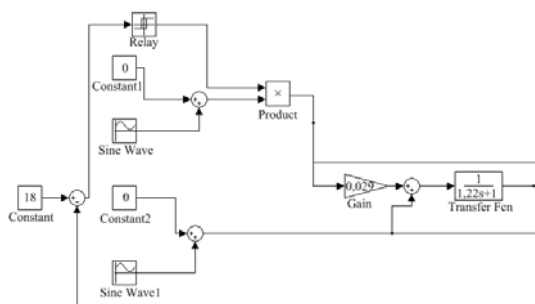


Рис. 3 – Структурная схема замкнутой системы регулирования температуры в среде *MatLab*

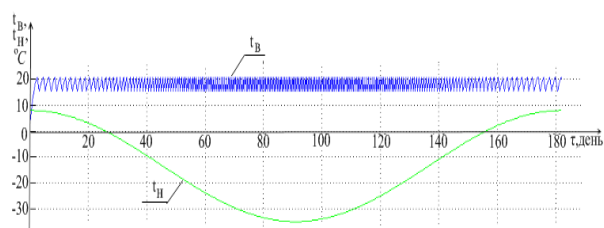


Рис. 4 – Переходные процессы температуры воздуха в помещении

Как видно из рисунка 4, при понижении температуры наружного воздуха увеличивается частота включений термостата.

Выводы

Разработана структурная схема отапливаемого помещения, позволяющая поддерживать температуру воздуха в помещении на уровне $18 \pm 2^\circ \text{C}$.

Достоинствами полученной структурной схемы являются:

- 1) простота;
- 2) учет основных теплопотерь помещения;
- 3) возможность наглядно демонстрировать динамические процессы при изменении внешних условий.

Недостатки схемы:

- 1) в рассматриваемой структурной схеме учитывается только один вид теплообмена – теплопроводность;
- 2) пренебрегаем добавочными теплопотерями, которые учитывают: ориентацию ограждающих конструкций по странам света; потери тепла через пол, потолок и внутренние стены; воздействие ветра на ограждения; охлаждение через открываемые двери. Также не учитываются потери на нагревание наружного воздуха, инфильтрующегося в помещение через притворы окон и балконных дверей. Отсутствует учет бытовых выделений тепла в помещении.

Результаты компьютерного моделирования подтверждают работоспособность структурной схемы и ее пригодность для практического применения. Имеется возможность устранения перечисленных недостатков путем модернизации схемы в соответствии с заданными условиями.

Литература

1. Е. К. Вачагина, Г. Р. Халитова, Ю. В. Караева, И. А. Трахунова, *Математическая модель теплообмена в системе поддержания температурного режима в реакторе метанового брожения*, Вестник Казан. технол. ун-та, **15**, 19, 33-37 (2012).
2. Р. Ш. Гайнутдинов, *Нестационарное температурное поле плоского тела в условиях зависимости температуры среды и коэффициента теплообмена от времени*, Вестник Казан. технол. ун-та, **14**, 2, 37-42 (2011).
3. Р. Ш. Еналеев, Э. Ш. Теляков, О. А. Тучкова, М. А. Закиров, О. Ю. Харитоновна, *Моделирование предельных состояний элементов строительных конструкций при высокоинтенсивном нагреве*, Вестник Казан. технол. ун-та, **13**, 8, 41-51 (2010).
4. А. Ф. Файрушин, В. К. Половняк, Р. Ш. Еналеев, *Снижение теплопотерь в трубопроводах горячего водоснабжения с использованием арагонитового покрытия на внутренних стенах*, Вестник Казан. технол. ун-та, **13**, 5, 91-96 (2010).
5. М. Ф. Халиков, Б. М. Азизов, И. В. Чепегин, *Исследование сочетанного воздействия повышенной температуры воздуха и вредных веществ*, Вестник Казан. технол. ун-та, **13**, 7, 99-109 (2010).
6. В. В. Белоусов, Ф. С. Михайлов. Основы проектирования систем центрального отопления. Госстройиздат, Москва, 1962. 402 с.
7. Г. А. Максимов. Отопление и вентиляция. Отопление. Высшая школа, Москва, 1963. 352 с.
8. В. П. Туркин. Отопление гражданских зданий. Южно-Урал. кн. изд-во, Челябинск, 1975. 320с.
9. Отопительный график качественного регулирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energoworld.ru/blog/otopitelnyj-grafik-kachestvennogo-regulirovaniya-otpuska-tepla-po-srednesutochnoj-temperature-naruzhnogo-vozduxa/>, свободный.