

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. Отогреваемое помещение имеет размеры м. Ограждающая конструкция представляет собой кирпичную стену толщиной 640 мм с внутренней известковой штукатуркой. Толщина штукатурки 15 мм.

Коэффициенты теплопроводности: для внутренней известковой штукатурки ккал/м час град; для кирпичной кладки на тяжелом растворе ккал/м час град. Сопротивление теплопереходу для внутренних поверхностей стен, полов, а также потолков, имеющих гладкую поверхность составляет 0,133 мчас град/ккал. Сопротивление теплопереходу для поверхностей, соприкасающихся непосредственно с наружным воздухом (наружные стены, бесчердачные покрытия и прочие) составляет 0,05 мчас град/ккал [6]. Удельная теплоемкость воздуха кДж/кг К. Пусть в помещении установлен чугунный радиатор М-140 из пяти секций. Поверхность нагрева одной секции для данного типа радиатора составляет 0,254 м[6]. Температура в помещении должна поддерживаться на уровне 18С. 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 теплотери помещений слагаются из теплотерь через отдельные ограждения, определяемых по формуле: ккал/час, где Q – теплотери через ограждение в ккал/час; R – площадь ограждающей конструкции в м²; k – сопротивление теплопередаче конструкции ограждения в мчасС/ккал; $t_{в}$ – температура воздуха в помещении, С; $t_{н}$ – температура наружного воздуха, С. [7] Ограждения бывают однородными и многослойными. Величину сопротивления теплопередаче многослойного ограждения определяют по формуле: мчасС /ккал. где R_1 – сопротивление теплопереходу у внутренней поверхности ограждения; R_2 – термические сопротивления отдельных слоев ограждения; R_3 – сопротивление теплопереходу у наружной поверхности ограждения. Термическое сопротивление однородного ограждения или слоя, входящего в состав многослойного ограждения, должно вычисляться по формуле: мчасС /ккал, где δ – толщина слоя в м; λ – коэффициент теплопроводности материала в ккал/м часС. Температура воздуха , 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...+20С при условии, что температура поверхности пола будет ниже температуры помещения не более чем на 1,25-2,5С [6]. Помимо основных теплотерь существуют также добавочные теплотери 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 теплотери.

Расчет нагревательных приборов Теплоотдача нагревательного прибора Q может быть определена из выражения: $Q = K F \Delta t$, где K - коэффициент теплопередачи нагревательного прибора в $\text{ккал/м}^2\text{час}^\circ\text{C}$; F - площадь поверхности нагревательного прибора в м^2 ; Δt - средняя температура теплоносителя в приборе; - температура воздуха в помещении. Средняя температура теплоносителя в приборе по схеме сверху вниз определяется по формуле: $t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$, 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 и на покрытие расхода тепловой энергии через ограждающие конструкции $Q_{\text{отп}}$, то есть $Q = Q_{\text{отп}} + Q_{\text{наг}}$. За бесконечно малый отрезок времени энергия, подведенная в помещение $Q_{\text{отп}}$, расходуется на нагревание самого помещения на Δt градусов: $Q_{\text{отп}} = C \Delta t$ и на покрытие расхода энергии через ограждающие конструкции $Q_{\text{отп}}$. Получим дифференциальное уравнение теплового баланса обогреваемого помещения: $\frac{dQ}{dt} = K F (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) - C \frac{dt}{dt}$, где F - площадь поверхности ограждающих конструкций; $t_{\text{н}}$ - температура наружной среды; $t_{\text{в}}$ - температура воздуха в помещении; C - теплоемкость помещения; K - коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций; F - площадь поверхности ограждающих конструкций; $t_{\text{н}}$ - температура наружной среды; $t_{\text{в}}$ - температура воздуха в помещении; C - теплоемкость помещения. Преобразуем полученное уравнение: $\frac{dQ}{dt} = K F (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) - C \frac{dt}{dt}$, где Q - тепловая энергия, подводимая в помещение; $t_{\text{н}}$ - температура наружной среды; $t_{\text{в}}$ - температура воздуха в помещении; C - теплоемкость помещения. Из данного уравнения получим передаточную функцию обогреваемого помещения: $\frac{Q}{t_{\text{н}} - t_{\text{в}}} = \frac{K F}{1 + \frac{C}{K F} s}$. 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 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: Передаточная функция

обогреваемого помещения: . Пусть температура наружного воздуха 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 65,3C и 51,7C соответственно [9]. Рассчитаем параметры обогреваемого помещения. Объем помещения составляет: м. Масса помещения: кг. Площадь ограждающей конструкции: м. Величина сопротивления теплопередаче для многослойного ограждения: Коэффициент теплопередачи ограждения: ккал/м час град. $1 \text{ ккал} = 4,19 \text{ Дж}$, тогда кДж/м час град. Постоянная времени обогреваемого помещения: час. Теперь необходимо определить тепловую энергию, поступающую в помещение от нагревательного прибора. Средняя температура теплоносителя в приборе: C. Коэффициент теплопередачи радиатора М-140 при разности между средней температурой теплоносителя и температурой помещения 40/45C равен 26,4 кДж/час м град [7]. Площадь поверхности нагревательного прибора: м. Теплоотдача нагревательного прибора: кДж

Построим структурную схему в среде MatLab (рисунок 1). Результаты моделирования для температуры воздуха показаны на рисунке 2. Рис. 1 - Структурная схема разомкнутой системы регулирования температуры в среде MatLab Рис. 2 - Результаты моделирования для температуры воздуха

Определим показатели качества переходного процесса для : 1) перерегулирование 2) время переходного процесса час. Из рисунка 2 видно, что установившееся значение температуры воздуха в помещении составляет 29,3C, что значительно превышает необходимую температуру 18C. 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 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 градусов Цельсия или среднесуточная температура наружного воздуха выше 8 градусов Цельсия. Представим, что температура наружного воздуха в течение 182 дней принимает значения от +8 до +8C с промежуточным минимальным значением -35C. 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 C и C . При C температура в подающем и обратном трубопроводах составляет 95°C и 70°C соответственно. [9] Средняя температура теплоносителя в приборе: C . Коэффициент теплопередачи радиатора М-140 при разности между средней температурой теплоносителя и температурой помещения $60/65^{\circ}\text{C}$ равен $30,2$ кДж/час м град . [7] Теплоотдача нагревательного прибора в этом случае кДж . При 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: 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 нагревательного прибора при разности между средней расчетной температурой теплоносителя и воздухом помещения, то коэффициент для любой другой разности температур может быть найден из выражения, где показатель степени для радиаторов равен 3 [7]. Найдем коэффициент: кДж/час м град . Теплоотдача нагревательного прибора в этом случае кДж . Составим структурную схему в среде MatLab (рисунок 3). Результаты моделирования для температуры воздуха в помещении, в зависимости от температуры наружного воздуха 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°C . Достоинствами полученной структурной схемы являются: 1) простота; 2) учет основных тепловых потерь 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 тепловыми потерями, 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.