

го времени: рынок еще не созрел. Скорее всего, созданная сейчас специализированная сервейинговая компания или отдел столкнутся с тем, что будут вкладывать много сил и средств в рекламу и продвижение услуг, а окупаемость будет только тогда, когда рынок "дозреет" сам.

Но, несмотря на туманные перспективы сервейинга в городе Барнауле, какие-то предпосылки к его развитию угадать можно. В результате завершения строительства в отдельных районах города ожидается появление на рынке нового массива недвижимости, и услуга сервейинга может быть востребована. К тому же отдельные элементы сервейинга в деятельности многих риэлторских фирм уже присутствуют. Например, собственники недвижимости нередко поручают риэлторам произвести экономическую экспертизу того или иного объекта с целью решения его судьбы, а также последующий поиск подходящих арендаторов.

В конкретных условиях города Барнаул сервейинг может быть очень полезен, тем людям и организациям, которые в силу разных причин не имеют возможности эффективно распоряжаться своей коммерческой

недвижимостью. Отдельно стоящие здания и помещения большой площади высвободились, в частности, у многих местных предприятий и учреждений.

Эксплуатировать их и дальше в качестве профильных объектов нецелесообразно, а перепрофилировать самостоятельно владельцы их также не могут как в силу отсутствия нужного опыта, так и из-за нехватки времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жилкин И.Е., Галеев А.З. Сервейинг как механизм вовлечения в хозяйственный оборот неэффективно используемой недвижимости [Электронный ресурс] / И.Е. Жилкин, А.З. Галеев. - 2009 – Режим доступа: <http://www.serveying.ru/article.php?sec=24&id=133>
2. Семин А. Сервейинг как фактор финансового оздоровления организаций-должников [Электронный ресурс] / А. Семин - 2009 – Режим доступа: <http://www.serveying.ru/article.php?sec=24&id=44>
3. Черноусова Е.В. Сервейинг – новая система управления государственной недвижимостью. / Материалы 5 межрегиональной научной конференции "Студенческая наука – экономике России". Ставрополь, 2007.

УДК 697.112.2

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Мишин М.А.

В статье приведен анализ теплопотребления различных жилых зданий, выявлены особенности потребления тепловой энергии. Рассмотрен тепловой режим жилых зданий при прерывистом отоплении. Приведена методика мониторинга и регулирования теплопотребления дома на основе модели остывания теплоносителя. Рассчитан температурный режим наружной стены при прекращении подачи теплоносителя в систему отопления.

Ключевые слова: воздух, жилое здание, нагрев, остывание, прерывистое отопление, температура, теплоноситель.

Анализ теплопотребления жилых зданий

Рассмотрим теплопотребление на примере девятиэтажного жилого дома. Наружный объем здания составляет 37995 м³. Согласно [1] нагрузка на отопление здания составляет 0,768 Гкал/ч. Регулирование отопления осуществляется «качественно», т.е. за счет повышения или понижения температуры теплоносителя на источнике теплоснабжения, при постоянном расходе.

На рисунке 1 приведен график почасового теплопотребления на отопление за период с 7 по 11 ноября 2007г.

В ночь с 9 по 10 ноября произошло заметное повышение теплопотребления на отопление. Это связано с понижением температуры наружного воздуха. Просматривается хорошая обратная зависимость между температурами наружного воздуха и разностью температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (коэффициент корреляции $r = -0,90$).

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

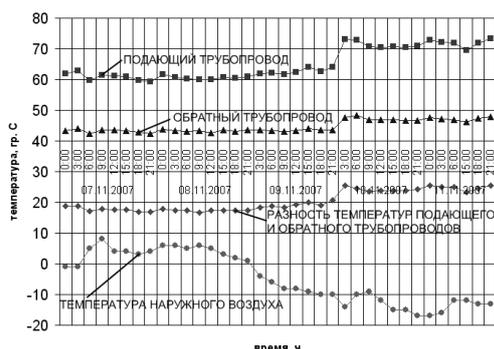


Рисунок 1 – Изменение температур теплоносителя в период похолодания

За рассматриваемый период минимум температуры наружного воздуха приходится на 11 ноября и составляет -17°C ; максимум теплотребления наблюдался 10 ноября, температура теплоносителя в подающем трубопроводе при этом была 74°C . Максимум температуры наружного воздуха составляет 8°C ; минимум температуры теплоносителя составил 58°C . Таким образом, разница между минимумом и максимумом температуры наружного воздуха составляет 25°C , а для температуры теплоносителя 16°C . Можно сделать вывод, что в период похолодания качественное регулирование полностью справилось со своим назначением.

В период потепления (с 18 по 22 января) температура теплоносителя в подающем трубопроводе снизилась недостаточно (рисунок 2), произошел перегрев помещений. Зависимость между температурами наружного воздуха и разностью температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах оказалась слабой (коэффициент корреляции $r = -0,61$).

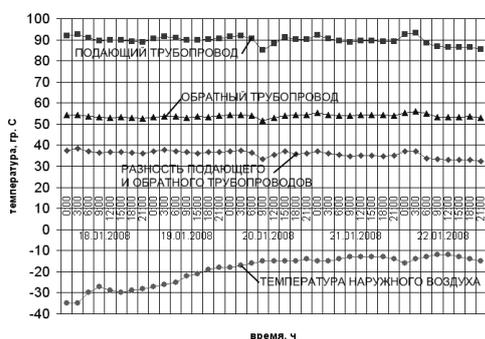


Рисунок 2 – Изменение температур теплоносителя в период потепления

Согласно [2] быстро понизить температуру воздуха в помещении возможно только путем увеличения воздухообмена, т.е. при перегреве помещений люди начнут откры-

вать форточки, что приведет к нерациональному использованию тепловой энергии.

Однако натурные исследования показали, что рассмотренную ситуацию можно избежать, проводя мониторинг теплотребления зданий и своевременно прибегая к методу прерывистого отопления [3].

В работе [3], как и в другой литературе советского периода, прерывистое отопление рассмотрено только применительно к нежилым зданиям с переменным режимом. В настоящее время стало возможным использовать этот метод и в жилых зданиях, благодаря появлению средств мониторинга теплотребления, таких как компьютеры, современные приборы учета тепловой энергии, различные системы диспетчеризации, более точные и доступные через Интернет прогнозы погоды.

Мониторинг теплотребления конкретного объекта включает процесс постоянного сопоставления данных о теплотреблении с метео- и другими данными, такими как количество проживающих людей, состояние изоляции трубопроводов и др. Проводится мониторинг в течение отопительного периода с целью минимизации затрат тепловой энергии.

Первым этапом мониторинга является анализ теплотребления. Анализ теплотребления – один из пунктов энергоаудита. Энергоаудит – это техническое обследование, анализ экономичности работы систем энергопотребления в целях определения возможной экономии затрат энергоресурсов. Полный энергоаудит – большая и трудоемкая работа. Из-за сложности и высокой стоимости необходимость и полезность энергоаудита не всегда являются оправданными. Анализ теплотребления преследует все те же цели, что и энергоаудит, только относительно тепловой энергии.

Для окончательного анализа теплотребления рассматриваемого объекта был проведен анализ суточного архива данных узла учета.

Теплотребление на отопление имеет хорошую обратную корреляцию с температурой наружного воздуха ($r = -0,84$), что дало возможность определить зависимость потребности в тепловой энергии на отопление от температуры наружного воздуха (рисунок 3).

Полученная зависимость описывается уравнением:

$$Q = -0,34t + 12,76, \quad (1)$$

где Q – теплотребление на отопление, Гкал; t – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Величина достоверности аппроксимации (коэффициент детерминации между двумя массивами чисел, равный квадрату коэффициента корреляции): $r^2 = 0,7$.

Воспользовавшись полученной выше зависимостью теплотребления от температуры наружного воздуха, был построен «идеальный» вариант того, как могло бы сложиться теплотребление в январе (рисунок 4). При мониторинге подобный график строится по прогнозируемой температуре наружного воздуха и сравнивается с текущим теплотреблением.

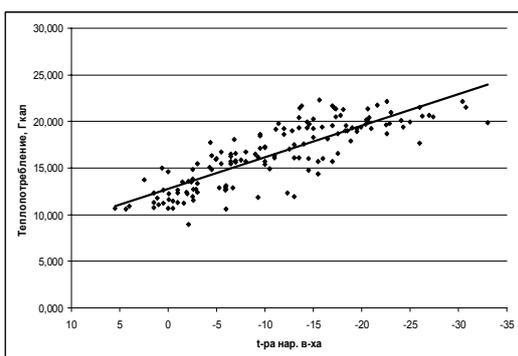


Рисунок 3 – Зависимость потребности в тепловой энергии на отопление от температуры наружного воздуха

На рисунке 4 показаны области перегрева и недогрева помещений. Области перегрева помещений закрашены, их оказалось больше, чем областей недогрева. Точки возможных отключений подачи теплоносителя также показаны на рисунке 4.

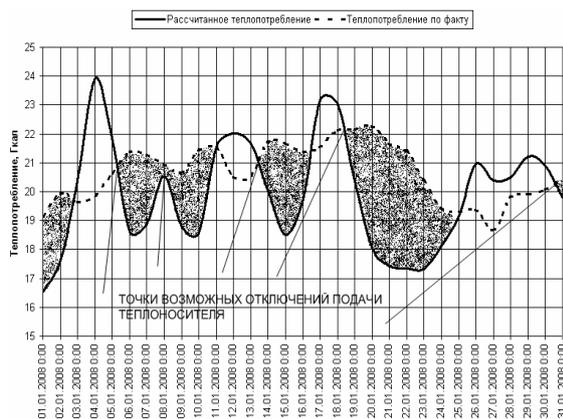


Рисунок 4 – Теплотребление на отопление в течение января с указанием областей перегрева и точек возможных отключений подачи теплоносителя

Включать и выключать подачу теплоносителя в периоды перегрева помещений можно двумя способами: при помощи автоматики или вручную. В жилых домах старой

постройки системы автоматики не нашли широкого распространения, т.к. внедрение существующих сегодня систем является экономически не выгодным. Как показывает практика, ручное отключение может производиться практически без ущерба качеству регулирования, однако требует больше трудовых ресурсов. Применение автоматических систем влечет за собой дополнительные затраты на монтаж, отладку и эксплуатацию.

Для большинства жилых домов старого года постройки вопрос экономии тепловой энергии остается не решенным. Это относится и к теплотреблению на горячее водоснабжение (ГВС). Согласно [4], неравномерное потребление горячей воды требует синхронного изменения отпуска тепла или соответствующего приготовления ее на месте потребления. Ввиду неосуществимости кратковременного соответствия выработки тепла на горячее водоснабжение и его потребления наблюдается постоянное нарушение отопительно-вентиляционных режимов, требующих создания излишних резервов теплоприготовительного оборудования. Установка аккумуляторов горячей воды дает возможность выровнять нагрузку водонагревателей и тем самым уменьшить запас пиковой мощности на тепловой станции.

Для определения ёмкости аккумулятора часто применяют безразмерные графики расхода тепловой энергии [5]. Такие графики можно увидеть в технической литературе советского периода. С течением времени изменились социальные условия людей, их привычки, снизилась населенность квартир, повысился процент безработных и т.п. Все эти факторы существенно влияют на потребление горячей воды. Таким образом, типовые безразмерные графики расхода тепловой энергии на ГВС потеряли свою актуальность. Отсюда можно сделать вывод, что необходим новый статистический материал, а также проведение анализа теплотребления для конкретных объектов. Кроме того, современные средства измерений позволяют получить более точные результаты.

Рассмотрим теплотребление на ГВС объекта с количеством проживающих людей 353 человек.

Максимальный часовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение: $Q_{г.макс.} = 0,348$ Гкал/ч. Среднечасовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение: $Q_{г.ср.} = 0,109$ Гкал/ч.. Расчет произведен согласно [6].

Для определения фактического расхода тепловой энергии на ГВС использованы дан-

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

ные часовых архивов коммерческого теплосчетчика. Средние значения часового теплопотребления в течение суток рассчитаны отдельно для будних и выходных дней. Для расчета среднего теплопотребления по будням объем выборки составил 184 значений для каждого часа суток, для расчета среднего теплопотребления по выходным – 85 значений. В обоих случаях значения для каждого часа соответствуют нормальному распределению, а стандартные отклонения лежат в пределах 0,01 – 0,02.

Графики теплопотребления приведены на рисунках 5 – 6.

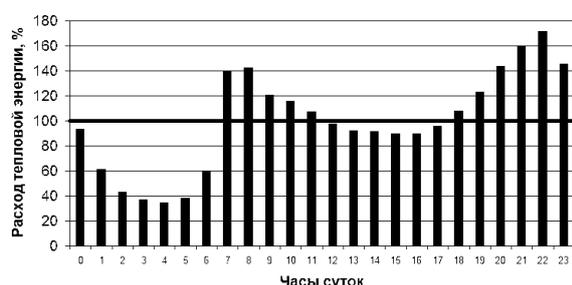


Рисунок 5 – Теплопотребление на ГВС в будние дни

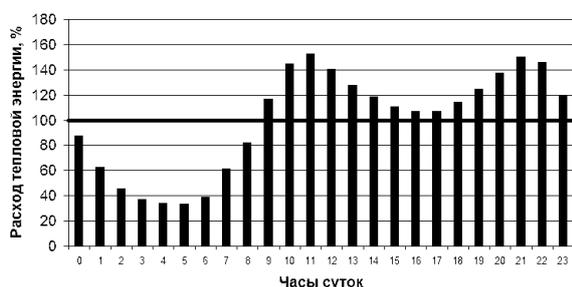


Рисунок 6 – Теплопотребление на ГВС в выходные дни

Прямой жирной линией показаны среднечасовые расходы в будни и выходные. Для рассматриваемого объекта это 0,103 Гкал/ч и 0,112 Гкал/ч соответственно. Соответствующая расчетная величина лежит между двумя этими значениями, что говорит об адекватности расчета. Однако, проводить энергосберегающие мероприятия, основываясь на расчетных величинах, нецелесообразно, т.к. неизвестна динамика потребления горячей воды в течение суток и нет дифференциации на будни и выходные.

На рисунке 7 наглядно показаны различия теплопотребления на ГВС объекта в будние и выходные дни. Оба графика имеют по два максимума и по два минимума. Максимумы теплопотребления на ГВС для будних дней приходятся на 8 часов и 22 часа. Для выходных – на 11 часов и 21 час. Эти пики

приходятся на время «после сна» и «перед сном», таким образом, видно, что средняя продолжительность сна по выходным больше на 4 часа.

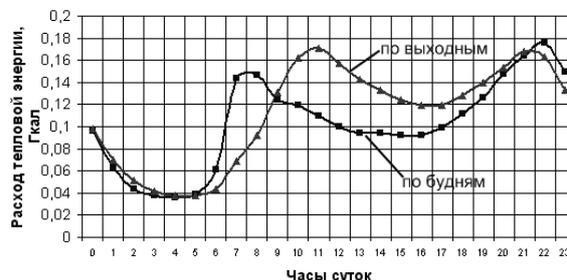


Рисунок 7 – Сравнение теплопотребления на ГВС в будние и выходные дни

Минимумы теплопотребления на ГВС для будних дней приходятся на 4 часа и 15÷16 часов. Для выходных – на 5 часов и 16÷17 часов. Различия двух этих графиков также заключаются и в максимальных отклонениях от среднечасовых значений. Для будней максимальное отклонение наблюдается в 22 часа и составляет +0,073 Гкал/ч ±1%, для выходных – в 5 часов и составляет –0,075 Гкал/ч ±2%. Следует отметить, что «вечерний» пик в будние дни превосходит «утренний» приблизительно на 30%, чего нельзя сказать о выходных днях – здесь максимумы находятся почти на одном уровне.

Особенности теплопотребления «элитных» домов

Определение расчетных часовых нагрузок на горячее водоснабжение (ГВС) жилых домов в настоящее время производится согласно [6] по следующей формуле:

$$Q_{hm} = \frac{aN(55-t_c)10^{-6}}{T} + Q_{m,n}, \text{ Гкал/ч}, \quad (2)$$

где a - норма затрат воды на горячее водоснабжение абонента, л/ед. измерения в сутки; N - количество единиц измерения, отнесенное к суткам; t_c - температура водопроводной воды в отопительный период, °С; T - продолжительность функционирования системы ГВС в сутки, ч; $Q_{m,n}$ - тепловые потери в местной системе горячего водоснабжения, в подающем и циркуляционном трубопроводах наружной сети горячего водоснабжения, Гкал/ч.

Как видно из формулы (2), расчет ведется на основе норм затрат воды на горячее водоснабжение абонента. Эти нормы должны быть утверждены местным органом самоуправления, а при их отсутствии принимается по СНиП 2.04.01-85* [7]. Этот СНиП не подразделяет жилые дома по социальному классу проживающих в них людей, т.к. был создан в советское время. В наши дни появилось

большое количество «элитных» домов, представленных, в основном, так называемой «точечной застройкой». В силу социального неравенства, жизнь и привычки людей, живущих в таких домах, существенно отличаются от «среднего класса», что сказывается на теплопотреблении дома.

Для выявления особенностей теплопотребления на ГВС «элитных» домов произведем сравнение суточных графиков фактического теплопотребления двух жилых домов: массовой и точечной застройки (рисунки 7 и 8).

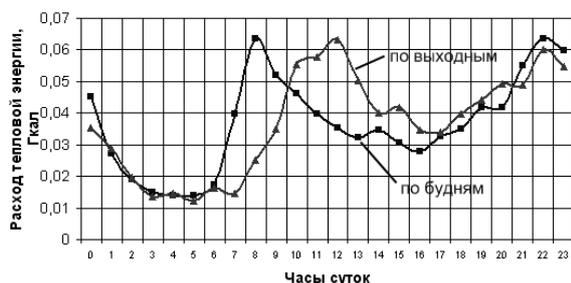


Рисунок 8 – Теплопотребление на ГВС жилого дома точечной застройки с количеством жителей 155 человек

На рисунке 8 максимумы теплопотребления по будням приходятся на 8 и 22 часа, по выходным – на 12 и 22 часа.

Минимумы теплопотребления на ГВС для будних дней приходятся на 5 и 16 часов, для выходных – на 5 часов и 16÷17 часов. Все максимумы теплопотребления находятся приблизительно на одном уровне.

На рисунке 9 показано месячное теплопотребление «элитного» дома.

За исследуемый период на отопление израсходовано 717,56 Гкал. Согласно расчету по [6], эта величина составляет 2136,96 Гкал, что больше фактической нагрузки почти в 3 раза. Что касается ГВС, то оно изменяется в течение отопительного сезона, очевидно, что имеет место зависимость от температуры наружного воздуха.

Социальные различия жителей домов массовой и точечной застройки существенно влияют на динамику потребления горячей воды, что следует учитывать при внедрении энергосберегающих технологий, таких как установка аккумуляторов горячей воды.

Что касается расчетных методов определения тепловых нагрузок, то очевидно, что для жилых домов «нового поколения» необходима переоценка норм затрат воды на горячее водоснабжение, а расчет потребности в тепловой энергии на отопление полностью неадекватен.

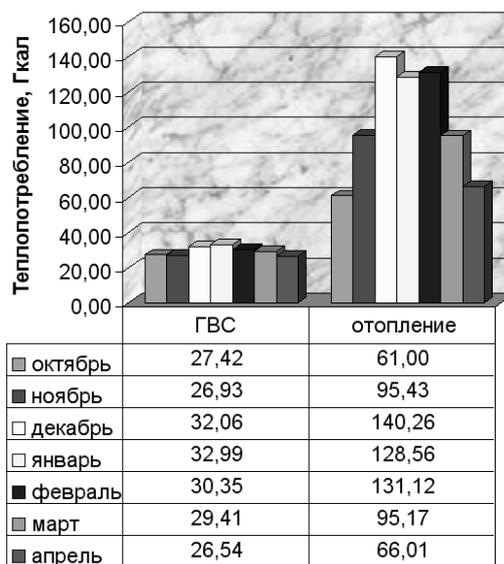


Рисунок 9 – Теплопотребление «элитного» дома на отопление и ГВС по месяцам

Тепловой режим жилых зданий при прерывистом отоплении

Уравнение теплового баланса здания имеет вид:

$$Q = Q_T + Q_{II} = Q_O + Q_{ТВ}, \quad (3)$$

где Q – суммарные теплопотери здания; Q_T – теплопотери теплопередачей через наружные ограждения; Q_{II} – теплопотери инфильтрацией; Q_O – поступления теплоты через систему отопления; $Q_{ТВ}$ – внутренние тепловыделения.

Согласно [3], внутренние тепловыделения носят случайный характер и не поддаются ни какому регулированию во времени. Для жилых зданий эти потери незначительны, и в большинстве случаев ими пренебрегают. Теплопотери инфильтрацией обусловлены поступлением холодного воздуха в помещение через неплотности наружных ограждений. В настоящее время эти потери сведены к минимуму в связи с появлением более совершенных ограждений, таких как пластиковые окна.

Вышеперечисленные $Q_{ТВ}$ и Q_{II} лежат в пределах погрешности расчета теплопотерь [3], поэтому вводиться в уравнение не будут. С учетом вышесказанного уравнение теплового баланса здания примет вид:

$$Q_T = Q_O, \quad (4)$$

Для выражения Q_O применим общеизвестную формулу, используемую для расчета теплопотребления зданий тепловычислите-

лями [7], входящими в состав узлов коммерческого учета. Для выражения Q_T используем формулу профессора Н.С. Ермолаева, описывающую стационарный режим [8]. Получим следующую формулу:

$$(t_g - t_n)V \left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \\ \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \end{array} \right\} = \quad (5)$$

$$= M_1(h_1 - h_2) + M_3(h_2 - h_{хв}),$$

где $k_c, k_{ок}, k_{nm}, k_{nl}$ – коэффициенты теплопередачи стен, окон, пола нижнего этажа, потолка верхнего этажа; φ – коэффициент остекления; ψ_1, ψ_2 – поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений (для большинства случаев $\psi_1 = 0,75 - 0,9$, $\psi_2 = 0,5 - 0,7$) [3]; t_g, t_n – температуры внутреннего и наружного воздуха; M_1, M_2 – массовые расходы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах ($M_3 = M_1 - M_2$); h_1, h_2 – удельные энтальпии теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах ($h_{хв}$ – энтальпия холодной воды); V, P, S, L – геометрические характеристики здания (объем, периметр, площадь, высота).

Для использования формулы (5) в целях регулирования теплоснабжения домов заменим t_n на условную температуру наружного воздуха t_{ycl} и выразим из формулы h_2 . Для учета степени износа ограждений и отопительного оборудования, а также индивидуальных особенностей объекта регулирования введем поправочный коэффициент Ω .

Зависимость примет вид:

$$h_2 = \frac{M_1 h_1 - M_3 h_{хв} - (t_g - t_{ycl})V \cdot \Omega \left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \\ \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \end{array} \right\}}{M_2}, \quad (6)$$

Для систем учета с одним расходомером на подающем трубопроводе зависимость (5) примет вид:

$$h_2 = \frac{M h_1 - (t_g - t_{ycl})V \cdot \Omega \left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \\ \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \end{array} \right\}}{M}, \quad (6a)$$

Условная температура наружного воздуха равна:

$$t_{ycl} = t_n - \Delta t_v + \Delta t_s, \quad (7)$$

где Δt_v – температурная добавка на скорость ветра; Δt_s – температурная добавка на облачность.

Чтобы использовать формулу (6), необходимо в реальном времени рассчитывать значение энтальпии h_2 , соответствующее максимальной допустимой температуре внутреннего воздуха. Значение h_2 сравнивается с фактическим значением $h_{2факт}$, и при $h_2 > h_{2факт}$ прекращается подача теплоносителя. Время пребывания регулирующей арматуры в закрытом состоянии определяется по модели остывания теплоносителя.

Модель остывания теплоносителя

Согласно закону Ньютона-Рихмана, за бесконечно малый промежуток времени dt тело отдаст в среду с единицы поверхности количество тепла, пропорциональное разности температур тела t_m и среды t_{cp} , и величине промежутка времени dt :

$$dQ = \alpha \cdot (t_m - t_{cp}) dt, \quad (8)$$

где α – коэффициент теплоотдачи.

За время dt тело понизит свою температуру на величину dt , количество тепла, отданное телом будет равно:

$$dQ = m c dt, \quad (9)$$

где m – масса, сосредоточенная в объеме, ограниченном поверхностью с единичной площадью; c – удельная массовая теплоемкость тела.

Приравняв правые части уравнений (8) и (9) получаем уравнение остывания тела:

$$dt = \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot (t_m - t_{cp})} dt. \quad (10)$$

Применяя формулу (10) соответственно к процессам остывания теплоносителя системы отопления и воздуха помещений, получаем систему уравнений, описывающую нестационарный режим остывания теплоносителя:

$$\begin{cases} dt = \frac{K_T}{(t_T - t_B)} dt_T; \\ dt = \frac{K_B}{(t_B - t_n)} dt_n. \end{cases} \quad (11)$$

где t_T – температура теплоносителя; t_B – температура внутреннего воздуха; t_n – температура наружного воздуха; dt_T – измене-

ние температуры теплоносителя; dt_g – изменение температуры внутреннего воздуха.

Коэффициенты K_T и K_B (формулы 16 – 17) введены для упрощения формы записи.

В предложенной модели время остывания определяется как запас тепла отнесенный к скорости расхода тепла. Первое уравнение в системе (11) описывает остывание теплоносителя в системе отопления, второе – остывание воздуха помещений.

Время остывания теплоносителя:

$$\tau = \frac{c_T \cdot m_T \cdot (t_{HT} - t_{КТ})}{k \cdot F \cdot (t_{КТ} - t_{КВ})}, \quad (12)$$

где c_T – удельная теплоемкость теплоносителя; m_T – масса теплоносителя в приборах системы отопления; t_{HT} – температура теплоносителя к началу остывания; $t_{КТ}$ – температура теплоносителя к концу остывания; $t_{КВ}$ – температура внутреннего воздуха к концу остывания; k – коэффициент теплопередачи материала отопительных приборов; F – площадь поверхности отопительных приборов;

$$t_{HT} = \frac{t_{см} + t_2}{2}, \quad (13)$$

где $t_{см}$ – температура смешения, получаемая в результате подмеса теплоносителя на элеваторе.

$$t_{см} = \frac{t_1 + at_2}{a + 1}, \quad (14)$$

где a – коэффициент смешения, определяемый по формуле (14а); t_1, t_2 – температуры подающего и обратного теплоносителя.

$$a = \frac{t_{1изм} - t_{см,изм}}{t_{см,изм} - t_{2изм}}, \quad (14a)$$

где $t_{1изм}, t_{см,изм}, t_{2изм}$ – измеренные температуры теплоносителя (до элеватора, после элеватора, температура обратного теплоносителя).

Взаимосвязь удельной энтальпии и температуры теплоносителя (воды) показана на рисунке 10 [9].

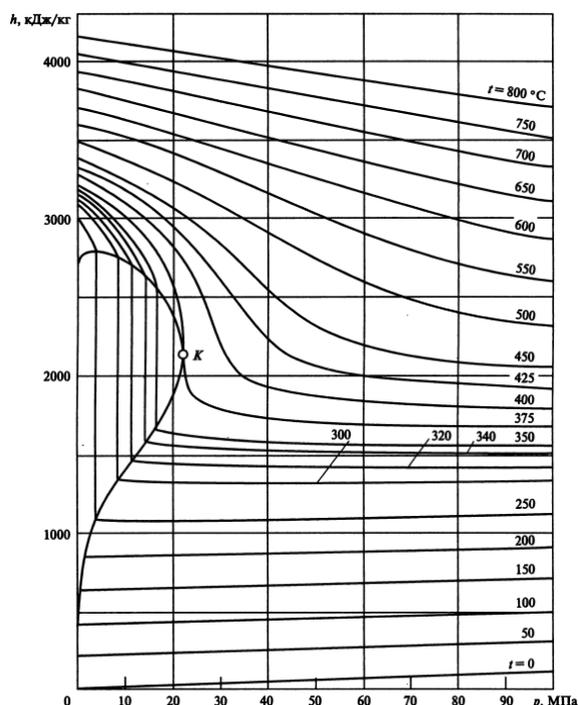


Рисунок 10 – Зависимость удельной энтальпии воды и водяного пара от температуры и давления

Анализируя рисунок 10, можно сделать вывод, что для практических расчетов, связанных с теплоносителем систем отопления, можно принимать энтальпию численно равной температуре.

Время остывания внутреннего воздуха определяется по аналогии с формулой 12. В знаменателе используем формулу профессора Н.С. Ермолаева с введенным поправочным коэффициентом Ω :

$$\tau = \frac{(c_B \cdot m_B + c_{жб} \cdot m_{жб}) \cdot (t_{нв} - t_{кв})}{(t_{кв} - t_n) \cdot V \cdot \Omega \cdot \left\{ \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \right\}}, \quad (15)$$

где $c_B, c_{жб}$ – удельные теплоемкости воздуха и железобетона; $m_B, m_{жб}$ – масса воздуха в помещениях и масса внутренних ограждений дома (согласно техпаспорта).

Коэффициенты K_T и K_B :

$$K_T = \frac{c_T \cdot m_T}{k \cdot F}, \quad (16)$$

$$K_6 = \frac{(c_B \cdot m_B + c_{жб} \cdot m_{жб})}{V \cdot \Omega \cdot \left\{ \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \right\}} \quad (17)$$

Модель остывания примет вид:

$$\begin{cases} \tau = \frac{K_T \cdot (t_{нт} - t_{кт})}{(t_{кт} - t_{кв})}; \\ \tau = \frac{K_B \cdot (t_{нв} - t_{кв})}{(t_{кв} - t_n)}. \end{cases} \quad (18)$$

Модель связывает температуру воздуха помещений с температурой теплоносителя в системе отопления, что позволяет производить регулирование по отклонению температуры воздуха помещений без установки дополнительных датчиков.

Таблица 1 – Исходные данные

Обозначение	Значение	Размерность
M1	27340	кг/ч
M3	190	кг/ч
h1	66,51	ккал/кг
h2	47,07	ккал/кг
hхв	5	ккал/кг
Kc	0,86	ккал/м ² ч°С
Kок	1,07	ккал/м ² ч°С
Kпт	0,72	ккал/м ² ч°С
Kпл	0,72	ккал/м ² ч°С
ψ1	0,8	безразм.
ψ2	0,6	безразм.
φ	0,2	безразм.
V	63827	м ³
P	540	м
S	2533	м ²
L	25,2	м
tв	27	°С
tусл	-3	°С
a	1,4	безразм.
cв	0,239	ккал/(кг°С)
mв	66794	кг
cт	1	ккал/(кг°С)
mт	14,5	кг
cжб	0,2	ккал/(кг°С)
mжб	5320960	кг
k	5,729	ккал/м ² ч°С
F	2,44	м ²

Метод мониторинга и регулирования теплотребления дома на основе модели остывания теплоносителя

Поскольку метод прерывистого отопления применяется для исключения перегрева помещений, смоделируем процесс остывания теплоносителя и воздуха помещений жилого дома при повышенной начальной температуре внутреннего воздуха.

Перед началом мониторинга необходимо рассчитать коэффициент Ω, используя в качестве исходных данных (таблица 1) результаты натурных исследований жилого дома, фактические показания теплосчетчика, температуры внутреннего и наружного воздуха.

$$\Omega = \frac{M_1(h_1 - h_2) + M_3(h_2 - h_{хв})}{(t_в - t_{усл})V \cdot \left\{ \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \right\}} \quad (66)$$

В период исследований температура внутреннего воздуха была повышенной, наблюдался перегрев помещений. Для расчета значения h₂ зададим максимально допустимое значение температуры внутреннего воздуха, t_в=24°С.

$$h_2 = \frac{M_1 h_1 - M_3 h_{хв} - (t_в - t_{усл})V \cdot \Omega \cdot \left\{ \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)] + \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \right\}}{M_2}$$

Полученное значение h₂ (48,91 ккал/кг) больше фактического значения таблицы 2.3, следовательно, в рассматриваемый момент времени следует прекратить подачу теплоносителя.

Чтобы воспользоваться моделью остывания теплоносителя, необходимо знать начальные температуры, при которых будет остывать теплоноситель и воздух помещений:

$$t_{нт} = 51,12^\circ\text{C}; \quad t_{нв} = 27^\circ\text{C}.$$

Коэффициенты K_T и K_B:

$$K_T = 1,037;$$

$$K_B = 61,9.$$

Модель остывания:

$$\begin{cases} \tau = \frac{1,037 \cdot (51,12 - t_{кт})}{(t_{кт} - t_{кв})}; \\ \tau = \frac{61,9 \cdot (27 - t_{кв})}{(t_{кв} + 3)}. \end{cases}$$

Нахождение искомым значений температур выполнялось методом подбора при помощи ЭВМ. Метод заключался в подборе таких значений температур воздуха, соответствующих заранее заданным температурам теплоносителя, при которых разность значений времени, рассчитанных соответственно по первому и второму уравнениям системы, стремилась к нулю.

Графическое представление модели изображено на рисунке 11.

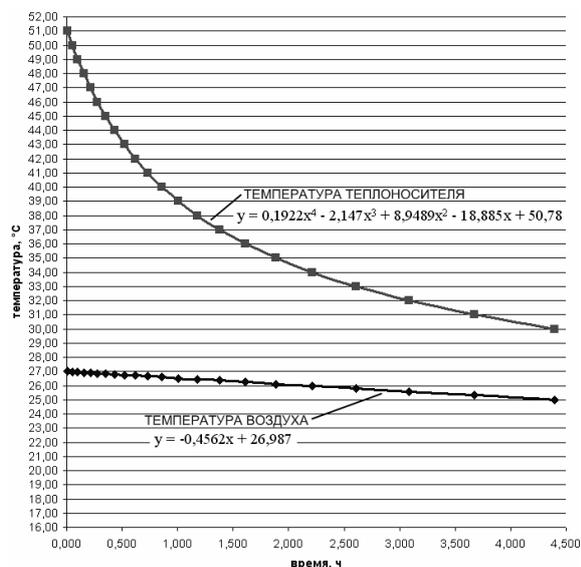


Рисунок 11 – Графики остывания теплоносителя и воздуха помещений при $t_n = -3^\circ\text{C}$

Анализируя график рисунка 11, видно, что теплоноситель системы отопления остывает по экспоненте, а воздух помещений остывает практически линейно. Дальнейшее исследование модели показывает, что в рассматриваемом случае температура воздуха помещений опустится до 20°C приблизительно через 18 часов после отключения подачи теплоносителя (при неизменной температуре наружного воздуха).

Графики рисунка 11 построены для постоянной температуры наружного воздуха. Чтобы учесть возможное повышение или понижение этой температуры зададим её как функцию от времени: $y=x-3$ – температура наружного воздуха повышается на 1°C в час; $y=-x-3$ – температура наружного воздуха понижается на 1°C в час.

На практике эти функции могут задаваться в соответствии с прогнозом погоды.

На рисунках 12 и 13 изображены графики остывания теплоносителя и воздуха помещений при повышении и понижении температуры наружного воздуха соответственно.

По графикам рисунков 11 – 13 видно, что за 4 часа остывания температура воздуха помещений достигнет: при $t_n = \text{const} - 25,2^\circ\text{C}$; при повышении $t_n - 25,4^\circ\text{C}$; при понижении $t_n - 25,0^\circ\text{C}$.

Анализируя аналитическую запись модели, видно, что определяющую роль играет масса внутренних ограждений. Из этого следует, что для использования данной модели в практических целях необходимо точное оп-

ределение этой величины, используя техническую документацию здания.

На рисунке 14 представлена общая схема управления теплоснабжением дома.

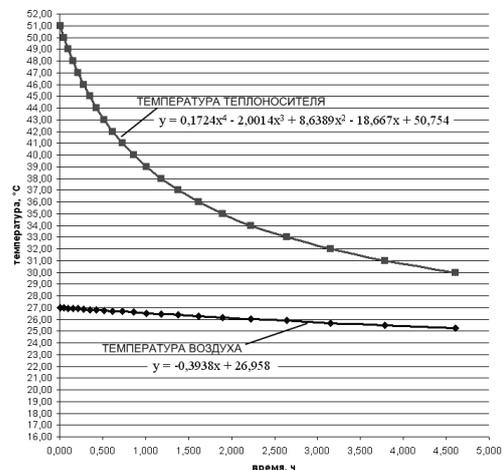


Рисунок 12 – Графики остывания теплоносителя и воздуха помещений при повышении температуры наружного воздуха

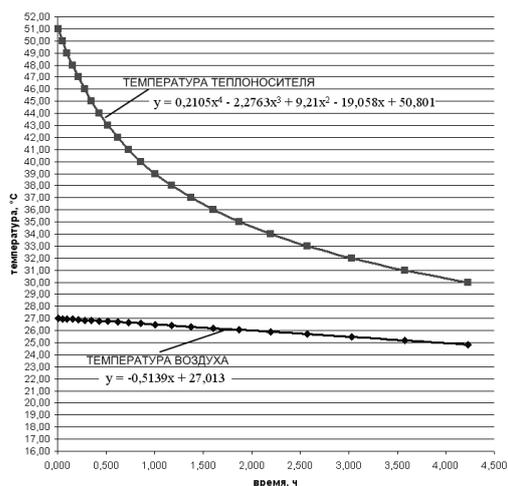


Рисунок 13 – Графики остывания теплоносителя и воздуха помещений при понижении температуры наружного воздуха

Схема управления теплоснабжением дома основывается на мониторинге энтальпии обратного теплоносителя и температуры наружного воздуха. Если энтальпия становится меньше расчетного значения, то происходит отключение подачи теплоносителя. При этом фиксируется температура теплоносителя и происходит расчет времени остывания до заданной температуры. По истечении этого времени подача теплоносителя возобновляется. Важное значение имеет анализ теплоснабжения дома, т.к. по его результатам принимаются исходные данные для расчета энтальпии обратного теплоносителя.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

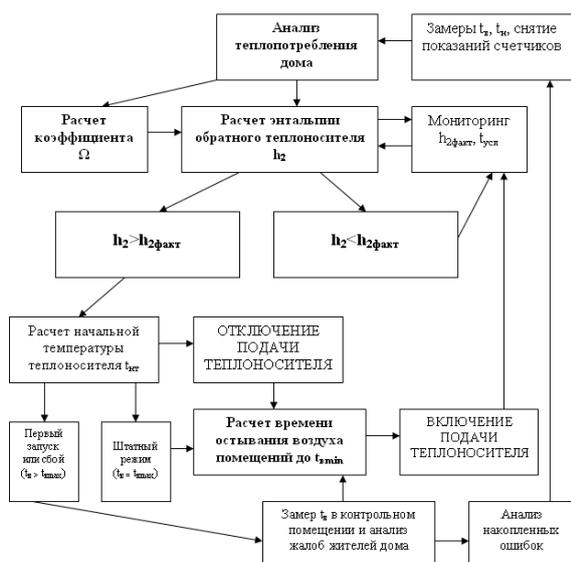


Рисунок 14 – Схема управления теплотреблением дома

Рассмотрим температурный режим наружного ограждения на примере кирпичной стены толщиной $\delta=0,51$ м, плотностью $\rho=1800$ гк/м³, $\lambda=0,7$ Вт/м⁰С, $c=0,88$ кДж/кг⁰С. Чтобы установить распределение температур в различное время после отключения подачи теплоносителя в систему отопления, найдем распределение температур в начальный момент времени $z=0$ (рисунок 15).

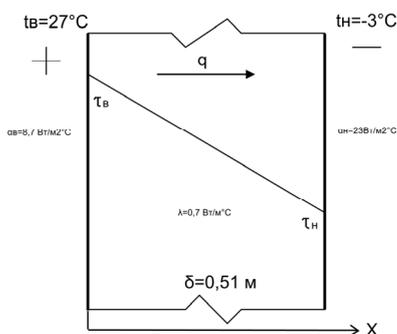


Рисунок 15 – Распределение температур в начальный момент времени

Запишем уравнение Лапласа в чистом виде:

$$\nabla^2 T = 0;$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0;$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0.$$

$$q = -\lambda \text{grad} T = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \frac{\tau_b - \tau_n}{\delta}.$$

Граничные условия 3-го рода:

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = \alpha_b (t_b - \tau_b);$$

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=\delta} = \alpha_n (\tau_n - t_n).$$

$$\alpha_b (t_b - \tau_b) = \lambda \frac{\tau_b - \tau_n}{\delta} = \alpha_n (\tau_n - t_n);$$

$$\alpha_b (t_b - \tau_b) = \alpha_n (\tau_n - t_n);$$

$$\tau_b = t_b - \frac{\alpha_n}{\alpha_b} (\tau_n - t_n);$$

$$t_b - \frac{\alpha_n}{\alpha_b} (\tau_n - t_n) - \tau_n = \frac{\delta}{\lambda} \alpha_n (\tau_n - t_n);$$

$$t_b - \frac{\alpha_n}{\alpha_b} \tau_n + \frac{\alpha_n}{\alpha_b} t_n - \tau_n = \frac{\delta}{\lambda} \alpha_n \tau_n - \frac{\delta}{\lambda} \alpha_n t_n;$$

$$\frac{\delta}{\lambda} \alpha_n \tau_n + \frac{\alpha_n}{\alpha_b} \tau_n + \tau_n = t_b + \frac{\alpha_n}{\alpha_b} t_n + \frac{\delta}{\lambda} \alpha_n t_n;$$

$$\tau_n = \frac{t_b + \frac{\alpha_n}{\alpha_b} t_n + \frac{\delta}{\lambda} \alpha_n t_n}{\frac{\delta}{\lambda} \alpha_n + \frac{\alpha_n}{\alpha_b} + 1}.$$

$$\tau_n = -1,53^\circ\text{C};$$

$$\tau_b = 23,11^\circ\text{C}.$$

Далее будем определять значения критерия Fo (критерий Фурье) для различных периодов времени. Для определения значенной относительной избыточной температуры Θ воспользуемся графиком рисунка 16 [10].

$$Fo = \frac{3600 \cdot 0,7}{880 \cdot 1800 \cdot 0,51^2} \cdot z = 0,00612 \cdot z.$$

При $z=10$ ч, $Fo=0,061$:

$$x/l=0, \quad \Theta=0,3, \quad t=-1,53+(1-0,3)(23,11-(-1,53))=15,72^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,2 \quad \Theta=0,15, \quad t=15,24^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,4 \quad \Theta=0,05, \quad t=12,56^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,6 \quad \Theta=0,02, \quad t=8,1^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,8 \quad \Theta=0,01, \quad t=3,35^\circ\text{C};$$

При $z=18$ ч, $Fo=0,112$:

$$x/l=0, \quad \Theta=0,38, \quad t=-1,53+(1-0,38)(23,11-(-1,53))=13,75^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,2 \quad \Theta=0,2, \quad t=14,25^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,4 \quad \Theta=0,1, \quad t=11,82^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,6 \quad \Theta=0,05, \quad t=7,81^\circ\text{C};$$

$$x/l=0,8 \quad \Theta=0,02, \quad t=3,30^\circ\text{C};$$

При $z=26$ ч, $Fo=0,159$:

$$x/l=0, \quad \Theta=0,45, \quad t=-1,53+(1-0,45)(23,11-(-1,53))=12,02^\circ\text{C};$$

$x/l=0,2 \Theta=0,25, t=13,27^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,4 \Theta=0,16, t=10,93^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,6 \Theta=0,09, t=7,42^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,8 \Theta=0,04, t=3,20^{\circ}\text{C};$
 При $z=34\text{ч}, Fo=0,208:$
 $x/l=0, \Theta=0,5, t=-1,53+(1-0,5)(23,11-(-1,53))=13,75^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,2 \Theta=0,31, t=12,08^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,4 \Theta=0,20, t=11,82^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,6 \Theta=0,11, t=7,81^{\circ}\text{C};$
 $x/l=0,8 \Theta=0,05, t=3,30^{\circ}\text{C};$

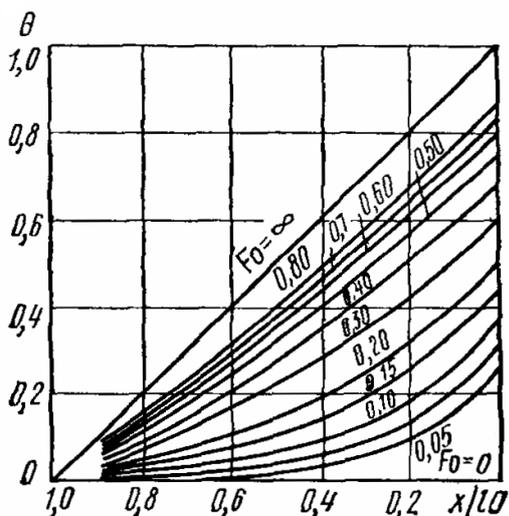


Рисунок 16 – Безразмерный график изменения относительной избыточной температуры

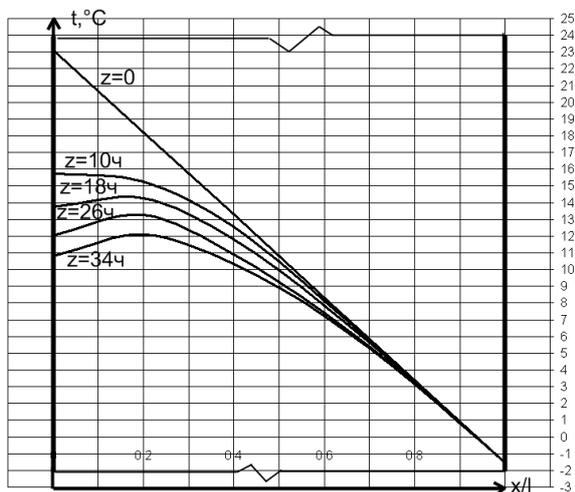


Рисунок 17 – График распределения температуры после отключения подачи теплоносителя в систему отопления

На рисунке 17 изображено рассчитанное выше распределение температур после отключения системы отопления.

По графику рисунка 17 видно, что приблизительно через 10 часов после отключения отопления, внутренний слой ограждения (толщиной 20% от общего размера) начинает

отдавать тепло в помещение, т.к. температура внутреннего воздуха опускается ниже температуры поверхности.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически показано, что для жилого фонда применим метод прерывистого регулирования отопления. Для его реализации необходим мониторинг теплоснабжения зданий. Процессы изменения температур протекают достаточно медленно, поэтому включать и выключать подачу теплоносителя в периоды перегрева помещений можно при помощи автоматики или вручную.

2. При внедрении энергосберегающих технологий следует учитывать динамику потребления горячей воды, основываясь на анализе данных приборов учета тепловой энергии, т.к. типовые безразмерные графики расхода тепловой энергии на ГВС потеряли свою актуальность, а существующие расчетные методы определения тепловых нагрузок неприменимы для жилых домов нового поколения.

3. Получены зависимости температуры обратного теплоносителя системы отопления от условной температуры наружного воздуха. Эти зависимости дают возможность определить момент времени, в который необходимо отключить подачу теплоносителя.

Для определения времени пребывания регулирующей арматуры в закрытом состоянии разработана модель остывания теплоносителя. Так исследование на модели показывает, что при перегреве помещений до 27°C и $t_n = -3^{\circ}\text{C}$, можно прекратить подачу теплоносителя на 18 часов, при этом температура воздуха помещений не опустится ниже 20°C (для рассматриваемого жилого здания серии №121).

4. Разработана схема управления теплоснабжением дома, которая может быть использована как для автоматического регулирования системы отопления, так и для ручного регулирования.

5. В некоторых случаях при длительном отключении отопления, внутренний слой ограждения (толщиной около 20% от общего размера) начинает отдавать тепло в помещение, т.к. температура внутреннего воздуха опускается ниже температуры поверхности. Однако при прерывистом отоплении нет смысла это учитывать, т.к. во избежание нарушения комфортных условий, подачу теплоносителя необходимо возобновлять гораздо раньше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МДК 4-05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. – М, 2003.
2. Туркин В.П. Управление тепловым режимом жилых зданий: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.03 Челябинск, 1983 43 с. РГБ ОД 71:85-5/61.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.; Издательство МЭИ, 2001. – 472 с., ил.
4. Козин В.Е., Левина Т.А., Марков А.П., Проница И.Б., Слемзин В.А. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с., ил.
5. Ионин А.А., Хлыбов Б.М., Братенков В.Н., Терлецкая Е.Н. Теплоснабжение: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1982. – 336 с., ил.
6. СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий. Госстрой России. М., 1999.
7. Тепловычислитель СПТ942. Руководство по эксплуатации. – ЗАО НПФ ЛОГИКА, 2003.
8. Ермолаев Н.С. К вопросу об определении тепловой характеристики зданий // Отопление и вентиляция. 1932. №4. С. 18-21.
9. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98 – М.: Издательство МЭИ. 1999. – 168 с.; ил.
10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.; Издательство АВОК Северо-Запад, 2006. – 400 с., ил. с. 208.

УДК 697.112.2

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Мишин М.А.

Статья посвящена вопросам использования метода прерывистого отопления для жилых зданий массовой застройки. Показана эффективность применения метода прерывистого отопления для жилых зданий массовой застройки. Приведены экспериментальные данные остывания воздуха помещений и теплоносителя систем отопления жилых зданий. Доказана экономическая эффективность применения метода прерывистого регулирования отопления для жилых домов.

Ключевые слова: воздух, жилое здание, замерзание, нагрев, остывание, прерывистое отопление, температура, теплоноситель, трубопровод.

В ходе проведения экспериментов были исследованы 5 многоквартирных жилых домов г. Барнаула: ул. Павловский тракт-253, 50 лет СССР-51, Северо-Западная-29, 80 Гвардейской дивизии-4а, Попова-153а. Все дома были оборудованы узлами коммерческого учета, прошедшие государственную поверку. При помощи этих узлов измерялись следующие параметры: теплотребление, температура теплоносителя, время. В качестве изменяемого параметра – расход теплоносителя. Для измерения температур нагретых поверхностей использовался инфракрасный пирометр марки «Raytek MT6» с пределами измерений от -30 до 1200 °С.

Узел учета тепловой энергии предназначен для коммерческого учета по расчету за тепловую энергию абонента. В соответствии с требованиями Правил учета тепловой энергии [1] на узле учета с помощью приборов должны определяться:

- время работы приборов узла учета;
- полученная тепловая энергия;
- масса (объем) теплоносителя, полученного по подающему и возвращенного по обратному трубопроводам за каждый час.

В соответствии с требованиями, перечисленными выше, узлы учета тепловой энергии включают в себя следующие комплекты приборов:

- по адресам Павловский тракт-253, 50 лет СССР-51:

1. Датчик объемного расхода вихреакустический Метран-320 – 2 шт.
2. Электронный тепловычислитель СПТ-943 – 1 шт.
3. Комплект термопреобразователей сопротивления КТПТР – 2 шт.
4. Датчик объемного расхода MTWI – 1 шт.
5. Датчик объемного расхода 7-KVI – 1 шт.