

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 53.04; 621.1; 681.2; 697.34

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, А.К.Байтуков

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

Энергия үнемдеу стратегиясына сәйкес Қазақстанда жылу пунктерді енгізу бойынша мәселелердің көкейтестілігі арта түсті. Мақалада жұмыс орнындағы жылуалмасуды жылулық тепе-теңдік негізінде автоматты жылулық пункті арқылы бейнелі модельдеудің жолдары қарастырылады. Автоматталған жылу пунктінің жылу балансына сәйкес математикалық модель ұсынылады. Бұл үлгі МОДЭН бағдарламасын қолданғанда жылуды реттеудің берілген алгоритмінде автоматты реттеу жүйесінің үнемді сызбанұсқасын есептеуге мүмкіндік береді. Бастапқы шарттар, әр түрлі жылу балансын талдауынан кейбір шарттар алынды.

In connection with the strategy of energy conservation in Kazakhstan has become a topical issue of the introduction of heat points. This article is offered the creation of automated heat point's using virtual model. In first, the mathematical model was create. There is a mathematical model of thermal balance of automated heat points. After description of virtual model which constructed with MODEN program, results of calculations using this program are considered. Obtained some data of the thermal balance of the premises at different initial conditions.

Введение

Известно, что основной вид энергетических ресурсов — органическое топливо (уголь, нефть, газ, горючие сланцы). Несмотря на то, что запасы органического топлива (угля, нефти, природного газа, горючих сланцев) оцениваются огромной цифрой $\sim 7 \cdot 10^{19}$ ккал/кг, явно наблюдается уменьшение запасов угля с одновременным возрастанием объемов его добычи, и вполне реален угрожающий прирост «угольного голода». Учеными разработаны и внедрены различные полужанитарные проекты создания энергетических установок, использующих энергию ветра, прибоя, морских приливов и отливов, солнечную энергию, геотермальную энергию, и др. Появились атомные электростанции, осуществляются управляемый термоядерный синтез, парогазовые установки, методы прямого преобразования тепловой энергии в электрическую и другие виды.

Традиционная теплоэнергетика, где источником тепла являются каменные и бурые угли, долго и надежно служит людям, возможно, сейчас кажется устаревшей. Но для объективности необходимо рассмотреть технико-экономические показатели теплоэнергетики в сравнении с альтернативными методами, ресурсное обеспечение (в данном случае обеспечение топливом), трудности и недостатки, свойственные теплоэнергетике, особенно с экологических позиций, и, главное, отыскать возможные способы экономии производимой энергии. Особенность тепловой энергии в том, что невозможно ее в полном объеме превратить в механическую, электрическую или другие виды энергии, тогда как обратное преобразование других видов энергии в тепловую происходит без всяких ограничений. В этой ситуации наиболее приоритетным направлением в развитии теплоэнергетики становится активное внедрение средств энергосбережения по всей цепочке: добыча — производство — потребление энергии.

Актуальность данной проблемы отображена в выступлении Н.Назарбаева 6 июня 2008 г.: «Энергосбережение должно восприниматься нами как первый шаг в повышении энергетической эффективности республики в целом. Необходим комплексный подход, затрагивающий не только вопросы промышленного и бытового потребления, но и общегородского планирования, проектирования и строи-

тельства зданий и сооружений, работы транспорта и коммунальных служб. Во всем мире вложение средств в энергосбережение стало полноценной альтернативой строительству новых энергетических объектов. А в большинстве случаев оно и более целесообразно» [1].

В связи с этим возникают предпосылки для перехода на оплату каждым владельцем или съемщиком жилья фактически потребленной им тепловой энергии. Цены на тепло, предоставляемое предприятиями теплосетей, являются ориентировочными по максимально возможному потреблению. Для решения этой проблемы нужны объективные методы контроля количества потребленного тепла. Следовательно, для экономии энергетических ресурсов и в то же время обеспечения комфортных условий в помещениях необходима система, совмещающая в себе функции измерения фактически потребленной тепловой энергии и регулирования процесса использования тепла, каковым является автоматизированный тепловой пункт [2, 3]. Рассмотрим результаты разработки математической модели теплового баланса автоматизированного теплового пункта. Предлагаемая математическая модель позволяет рассчитать оптимальную конфигурацию системы автоматического регулирования и поправочные коэффициенты в разрабатываемом алгоритме учета тепла.

Математическая модель

В упрощенной постановке составим тепловой баланс в некотором помещении, определив сначала составляющие теплопоступлений (теплопотерь) помещения, соответствующие схеме, приведенной на рисунке 1.

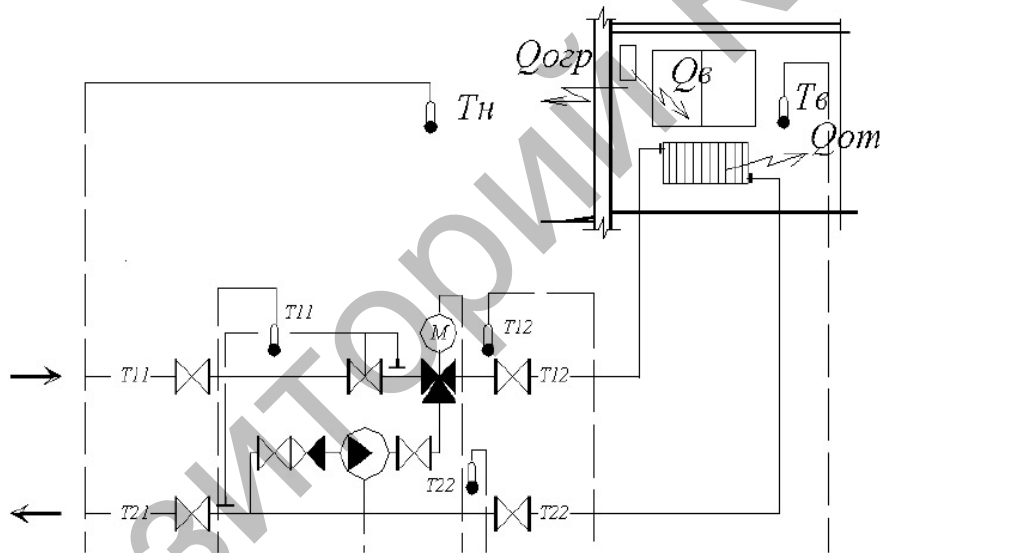


Рис. 1. Схема теплоснабжения: — запорный клапан; — обратный клапан; — трехходовой седельный клапан с приводом прямого действия; — датчик температуры, — компрессор или водяной насос

1. Теплопотери помещения определяются

$$Q_{огр} = \sum (k \cdot F)_{огр} \cdot (T_в - T_н), \quad (1)$$

где $\sum (k \cdot F)_{огр}$ — суммарная приведенная величина для всех ограждений (стены, потолок, пол) помещения, $T_в$, $T_н$ — температура внутри и снаружи помещения ($^{\circ}\text{C}$).

2. Теплопоступления от системы отопления

$$Q_{от} = \sum (k \cdot F)_{от} \cdot \left[\frac{(T_{12} - T_{22})}{2} - T_в \right], \quad (2)$$

где $\sum (k \cdot F)_{от}$ — суммарная приведенная величина нагревательных приборов в помещении; T_{11} — температура в подающем теплоносителе теплосети ($^{\circ}\text{C}$); T_{22} — температура в обратном контуре системы отопления ($^{\circ}\text{C}$).

3. Аккумуляция теплоты помещением

$$Q_{ак} = I_{ном} \cdot \frac{dT_г}{d\tau}, \quad (3)$$

где $I_{ном}$ — приведенная энтальпия помещения.

4. Теплопоступления с вентиляцией

$$Q_{вент} = \int [I_{вент} \cdot L \cdot (T_г - T_{np})] dt, \quad (4)$$

здесь $I_{вент}$ — приведенная энтальпия вентиляции, L — воздухообмен ($\text{м}^3/\text{с}$).

С учетом внутренних тепловыделений $Q_в$ уравнение теплового баланса запишем в виде

$$\sum (k \cdot F)_{ом} \cdot \left[\frac{(T_{12} - T_{22})}{2} - T_г \right] + I_{вент} \cdot L \cdot (T_г - T_{np}) dt + Q_в = \sum (k \cdot F)_{опр} \cdot (T_г - T_н) + I_{опр} \cdot \frac{dT_г}{d\tau} Q_{ак} = I_{ном} \cdot \frac{dT_г}{d\tau}, \quad (5)$$

где T_{12} — температура в подающем контуре системы отопления ($^{\circ}\text{C}$); T_{21} — температура в обратном теплоносителе теплосети ($^{\circ}\text{C}$).

Введем обозначения $\alpha = \sum (k \cdot F)_{опр} / \sum (k \cdot F)_{ом}$ — теплотехническая характеристика здания, которая имеет постоянное значение для помещения (здания), тогда

$$\alpha = \frac{\left[\frac{(T_{12} - T_{22})}{2} - T_г \right] + \left[\int I_{вент} \cdot L \cdot (T_г - T_{np}) dt + Q_в + I_{опр} \cdot \frac{dT_г}{d\tau} \right]}{\left[\sum (k \cdot F)_{опр} \cdot (T_г - T_н) \right]}. \quad (6)$$

Введем текущее значение α_i , которое определяется следующим выражением:

$$\alpha_i = \frac{\left[\frac{(T_{12} - T_{22})}{2} - T_г \right]}{(T_г - T_н)}, \quad (7)$$

тогда

$$\alpha = \alpha_i + \frac{\left[\int I_{вент} \cdot L \cdot (T_г - T_{np}) dt + Q_в + I_{опр} \cdot \frac{dT_г}{d\tau} \right]}{\left[\sum (k \cdot F)_{опр} \cdot (T_г - T_н) \right]}. \quad (8)$$

При изменении температуры T_{12} на некоторую величину T_{12}^1 происходит соответственно и изменение температуры T_{22} на T_{22}^1 , меняются все другие величины, т.е. температура $T_г$ на $T_г^1$ и параметр α_i на α_i^1 . Предположив, что второе слагаемое в правой части уравнения (6) не изменяется, и, учитывая, что для одного и того же здания $\alpha_i = \alpha_i^1$, получим:

$$\alpha_i = \frac{\left[\frac{(T_{12}^1 - T_{22}^1)}{2} - T_г^* \right]}{(T_г^* - T_н)}, \quad (9)$$

где

$$T_{12}^1 = 2 \cdot [T_г^* \cdot (1 + \alpha_i) - T_н^* \cdot \alpha_i] - T_{22}^1. \quad (10)$$

Уравнение (10) является основным для автоматического регулирования. Если принять, что требуемая внутренняя температура $T_{гв}$ (температурная установка), то требуемое значение T_{12} будет равно

$$T_{12mp} = 2 \cdot [T_{гв}^* \cdot (1 + \alpha_i) - T_н^* \cdot \alpha_i] - T_{22}. \quad (11)$$

Понятно, что теплотехническая характеристика α — величина постоянная, но ее истинное значение можно определить статистически только в результате многократных замеров:

$$\alpha = \frac{1}{n} \cdot \left\{ \frac{\left[\frac{(T_{12} - T_{22})}{2} - T_г \right]}{(T_г - T_н)} + \frac{\left[\int I_{вент} \cdot L \cdot (T_г - T_{np}) d\tau + Q_в + I_{опр} \cdot \frac{dT_г}{d\tau} \right]}{\left[\sum (k \cdot F)_{опр} \cdot (T_г - T_н) \right]} \right\} \quad (12)$$

или

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i}{n} + \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum \left[\int I_{вент}^* \cdot L^* \cdot (T_g - T_{np})^* d\tau + Q_g + I_{опр}^* \cdot \frac{dT_g}{d\tau} \right]}{\sum (k \cdot F)_{опр}^* \cdot (T_g - T_n)}, \quad (13)$$

здесь n — количество замеров.

Если предположить, что теплопоступления с вентиляцией отсутствуют ($T_g - T_n$), внутренние теплопоступления (Q_g) имеют случайный характер, а процесс близок к стационарному, то второе слагаемое в правой части становится равным нулю, и с учетом (7) имеем

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i}{n}. \quad (14)$$

Для отапливаемого помещения предварительно определяется значение α , для чего используются расчетные параметры теплоносителя, взятые при проектировании отопления T_{12max} , T_{22max} , $T_{н,от}$. Подставим данные значения в формулу (8) для определения α_i , предположив при этом, что в помещении отсутствуют теплопоступления с вентиляцией и внутренние, тогда:

$$\alpha = \frac{\left[\frac{(T_{12max} - T_{22max})}{2} - T_{гв} \right]}{(T_{гв} - T_{н,от})}. \quad (15)$$

Виртуальная модель

Для имитационного моделирования используется программа МОДЭН (версия 2.01); схема виртуальной модели приведена на рисунке 2. Рассматриваемая энергетическая система состоит из котельной, индивидуального теплового пункта (ИТП), помещения с системой отопления и окружающей среды. Все элементы связаны между собой трубопроводами, за исключением процесса теплообмена помещения с окружающей средой. Котельная вырабатывает теплоноситель по графику с температурой 150–70 °С.

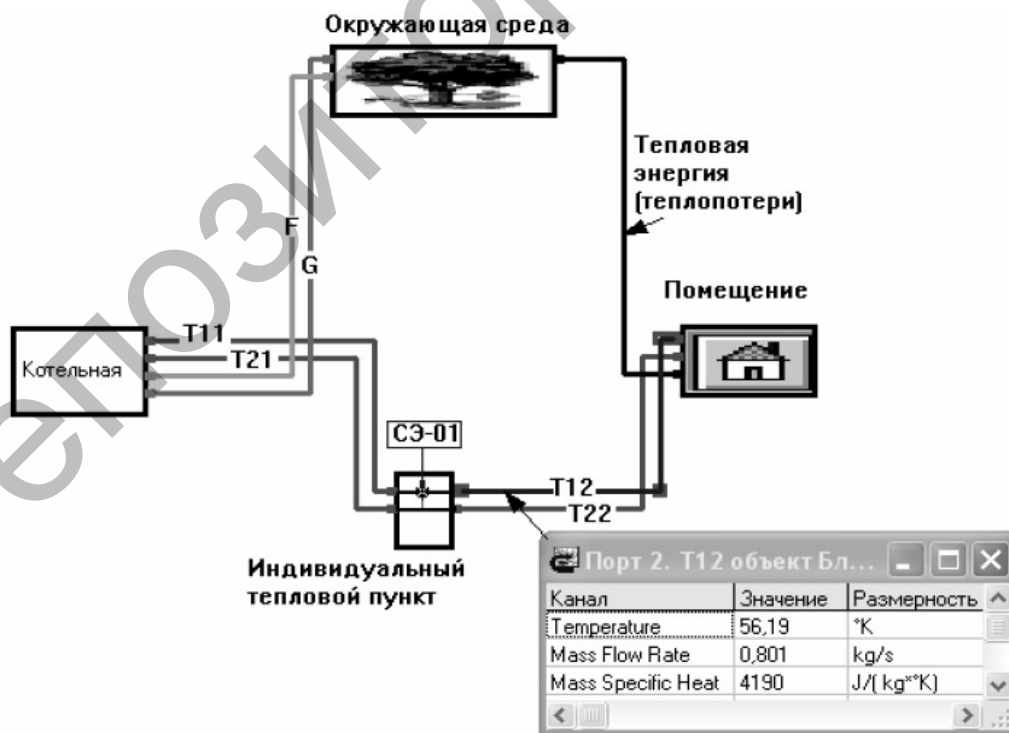


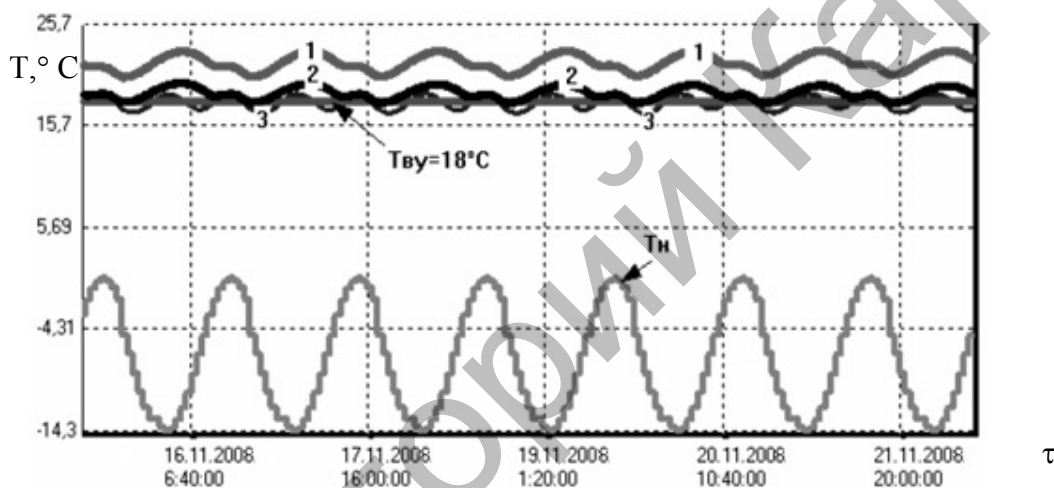
Рис. 2. Схема теплоснабжения

В ИТП установлен трехходовой смесительный клапан, который позволяет поддерживать требуемую температуру смешанной воды в систему отопления (T_{12}) при постоянном расходе воды в

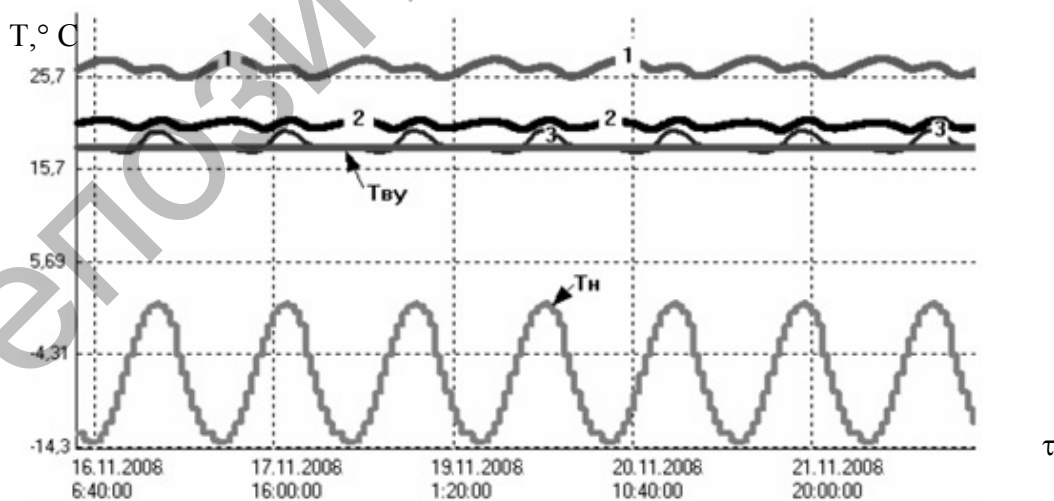
контуре отопления. Расчетные параметры теплоносителя системы отопления меняются по графику 95–70 °С.

Для управления трехходовым клапаном применяется контроллер, который имеет возможность работы с различными алгоритмами регулирования. В помещении работает простая система отопления, которая в программе моделируется одним нагревательным прибором. Наружное ограждение помещения — трехслойное, состоит из внутренней штукатурки, кирпичной кладки толщиной 51 см и наружной штукатурки. Данный теплонепроницаемый слой и объем воздуха в помещении создают определенную тепловую инерцию процессу теплообмена.

В случае, если источник переменной тепловой мощности отключен, то текущие температуры внутреннего воздуха ведут себя так, как показано на рисунке 3а. Помещение отличается тем, что в нем находится источник переменной тепловой мощности, который вносит возмущения в нормальный процесс теплообмена, а также учитываются регулярные теплопоступления от солнечной радиации. Если же процесс происходит при включенном внутреннем источнике, то получаем график (рис. 3б). Из графиков видно, что регулирование по математической модели приводит к удовлетворительному и соответствует требуемому значению с эпизодическими превышениями до 2 °С. Следует учесть, что использовалось ограничение значения α_i в пределах 30 % от α .



а)



б)

Рис. 3. График температур внутреннего воздуха: а — при отключенном внутреннем тепловом источнике в помещении; б — при включенном источнике

В настоящее время на практике для автоматизации систем отопления применяются три основных способа: по графику ЦКР (центральное качественное регулирование), по графику ЦКР с автоподстройкой, по математической модели объекта. В основе теории автоматического регулирования