

УДК 681.51:664.1(04)

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ЗДАНИЙ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

© 2012 А.Н. Потапенко, А.С. Солдатенков, Е.А. Потапенко, С.Н. Глаголев

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Поступила в редакцию 26.03.2012

Показаны возможности математического моделирования управления процессом теплоснабжения комплекса из 5 зданий с применением автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов и элеваторных узлов в условиях ограниченных инвестиций. Показано, что при переходных процессах в тепловых пунктах комплекса зданий наблюдаются колебания величин тепловой мощности, тогда как в обратных трубопроводах температуры теплоносителей полностью сглаживаются.

Ключевые слова: комплекс зданий, индивидуальный тепловой пункт, автоматическое регулирование, математическое моделирование

Известно, что внедрение инновационных технологий в системах теплоснабжения зданий и сооружений позволяет снизить потребление тепловой энергии в среднем до 30% в переходные периоды отопительного сезона. Это достигается на основе применения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) [1-3] с помощью локальных систем автоматического регулирования (САР) за счет выполнения следующих основных функций: регулирования расхода теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха (погодная компенсация); программного управления подачей теплоносителя по суточным и недельным графикам и др.; относительно быстрого подъема температуры в помещениях зданий путем создания максимального расхода теплоносителя после периодов снижения температуры, например, в ночное время с последующим переходом на оптимальный режим функционирования локальной САР; ограничения максимальной и минимальной температуры теплоносителя в системах теплоснабжения; регулирования температуры воды в системе горячего водоснабжения (ГВС), а также реализация других преимуществ САР.

Потапенко Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники и автоматики. E-mail: potapenko@intbel.ru

Солдатенков Алексей Сергеевич, старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики. E-mail: aser@pisem.net

Потапенко Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, профессор кафедры организации и безопасности движения. E-mail: potapenko1@intbel.ru
Глаголев Сергей Николаевич, доктор экономических наук, профессор. E-mail: sergeyglagolev@yandex.ru

Опыт внедрения автоматизированных систем диспетчерского управления распределенными энергосистемами комплекса зданий на базе автоматизированных ИТП, представленный, например в [4], также показал высокую эффективность работы энергохозяйства на примере Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Экспериментальные исследования [5] показали, что в системах, как централизованного, так и децентрализованного теплоснабжения наблюдается эффект, характерный для комплекса зданий с совместным применением автоматизированных ИТП и элеваторных узлов (при централизованном теплоснабжении, например, при подключении к внешним теплосетям через общую тепловую камеру), приводящий к снижению эффективности их функционирования и снижению экономии тепловой энергии. Особенности математической модели управления процессом отопления в автоматизированном ИТП здания и для комплекса нескольких зданий с возможностью исследования этих процессов представлены в [6, 7].

Постановка задачи. Исследуются возможности управления процессом теплоснабжения комплекса из 5 зданий с совместным применением автоматизированных ИТП и элеваторных узлов (в условиях ограниченных инвестиций). За основу моделирования этих объектов принят подход [6, 7].

Особенности схем моделирования. Считаем, что здания 1, 2, 3 оборудованы автоматизированными ИТП, а остальные – нерегулируемыми элеваторными узлами. Тепловая нагрузка этих зданий представлена в табл. 1.

Таблица 1. Расчетная тепловая нагрузка зданий комплекса

Номер здания	Расчётная тепловая нагрузка, ГДж/ч
Здание 1	0,489
Здание 2	0,308
Здание 3	0,91
Здание 4	0,18
Здание 5	0,15

Типовой автоматизированный ИТП для зависимой системы отопления (СО) здания содержит технологический контроллер ТК1, моноблок циркуляционных насосов Н1 и Н2 с электроприводами М1 и М2, регулирующий клапан К1 с исполнительным механизмом ИМ1, обратный клапан КО1, регулятор перепада давления прямого действия РД1 с клапаном К2, датчик температуры наружного воздуха ДТ1, датчики температуры теплоносителя ДТ2 и ДТ3, датчики давления ДД1 и ДД2, а также узел учета тепловой энергии, например, теплосчетчик с комплектом датчиков температуры, расхода и давления [7]. Схема присоединения системы отопления зданий с автоматизированными ИТП показана на рис. 1.

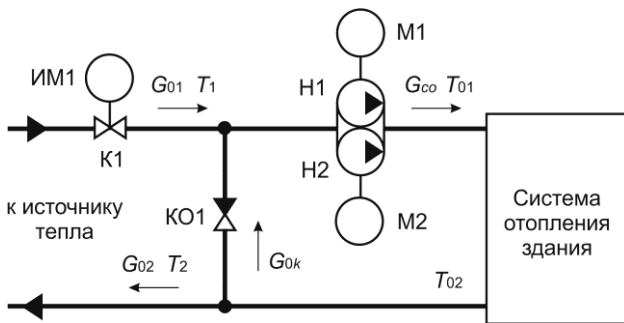


Рис. 1. Схема зависимого присоединения СО здания к тепловым сетям

Обозначения технологических величин на схеме следующие: T_1 и T_2 – соответственно температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах на вводе в ИТП; T_{01} и T_{02} – соответственно температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах внутреннего контура СО здания; G_{01} и G_{02} – соответственно расходы теплоносителя на вводе ИТП в подающем и обратном трубопроводах СО здания; G_{0k} – расход теплоносителя через перемычку с обратным клапаном; G_{co} – расход теплоносителя во внутреннем контуре системы отопления здания.

Обобщенная функциональная схема системы отопления автоматизированного ИТП здания показана на рис. 2. Состав элементов схемы следующий: блок регулятора по возмущению Р1

(погодная компенсация); двухконтурный блок регулятора Р2 по отклонению технологической величины от заданной; П1 – П3 элементы-преобразователи выходных величин датчиков температуры Д1 – Д3 (термопреобразователи сопротивления на выходе с R_i) в измеряемые ими физические величины (например, как в контроллерах типа ECL Comfort (Danfoss, Дания)); исполнительный механизм ИМ; регулирующий орган РО в виде седельного клапана; узел смешивания теплоносителей УС (см. рис. 1) от подающего трубопровода теплосетей и от обратного трубопровода СО здания через перемычку с КО1; объект управления ОУ, представляющий собой СО здания.

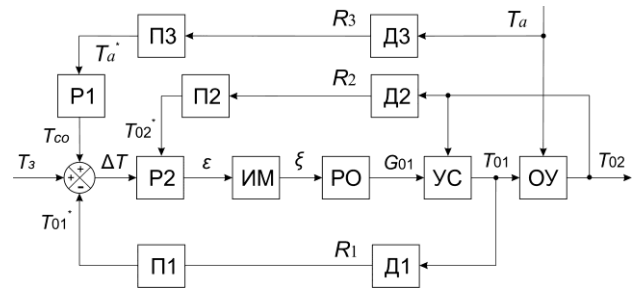


Рис. 2. Функциональная схема автоматизированного ИТП здания

Дополнительные обозначения величин функциональной схемы следующие: T_a – температура наружного воздуха; T_a^* – температура наружного воздуха на входе в блок Р1; T_{co} – требуемая с учётом принципа погодной компенсации расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе СО здания после перемычки с КО1 (см. рис. 1); T_z – величина задания с целью коррекции температуры теплоносителя в подающем трубопроводе СО здания (T_{co}); ΔT – отклонение по температуре регулируемой величины T_{01} ; ε – приведенный управляющий сигнал регулятора Р2; ξ – приведенная величина перемещения РО; T_{01}^* – измеренная температура теплоносителя в СО здания; T_{02}^* – измеренная температура теплоносителя на входе в Р2.

Системы уравнений математического моделирования. Математическая модель СО здания на основе автоматизированного ИТП [6] в соответствии с функциональной схемой и с учётом структур регуляторов Р1 и Р2 (в целях упрощения схемы на рис. 2 их структуры не раскрыты) представлена в виде системы уравнений (1).

Система (1) включает следующие уравнения: уравнения движения датчиков температуры Д3 и Д1; уравнения для регуляторов Р1 и Р2 (уравнение отопительного графика для вычисления расчетной температуры теплоносителя в

подающем трубопроводе СО здания T_{co} ; уравнение связи для определения ΔT ; нелинейное уравнение зоны нечувствительности регулятора P2; уравнение регулятора P2 для управления в системах теплоснабжения, например, по аналогии со специализированными контроллерами типа ECL Comfort; нелинейное уравнение зоны ограничения P2); уравнение исполнительного механизма (считается интегрирующим звеном); уравнение РО относительно выходной величины G_{01} с учётом определяемой в расчётах величины G_1 ; уравнение связи для УС; уравнение движения ОУ по каналу регулирования «температура теплоносителя T_{02} - температура теплоносителя T_{01} »; уравнение движения датчика температуры Д2.

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{da} \frac{dT_a^*(t)}{dt} + T_a^*(t) = k_{da} T_a(t), \\ \tau_{d1} \frac{dT_{01}^*(t)}{dt} + T_{01}^*(t) = k_{d1} T_{01}(t), \\ T_{co}(t) = f_1(T_a^*), \\ \Delta T(t) = T_{co}(t) + T_3(t) - T_{01}^*(t), \\ x_1(\Delta T) = \begin{cases} 0, & -X_d \leq \Delta T(t) \leq X_d, \\ k_1 \Delta T(t), & |\Delta T(t)| > X_d, \end{cases} \\ \varepsilon(t) = \frac{k_m}{X_p} \left[x_1(\Delta T) T_u + \frac{dx_1(\Delta T)}{dt} \right], \\ x_2(t) = \begin{cases} k_2 \varepsilon(t), & -k_m \leq \varepsilon(t) \leq k_m, \\ k_m, & |\varepsilon(t)| > k_m, \end{cases} \\ \frac{d\xi(t)}{dt} = \frac{k_u}{\tau_u} x_2(t), \\ G_{01}(t) = G_1 k_k e^{k_2 \xi(t)}, \\ T_1 G_{01}(t) + T_{02}(t)(G_{co} - G_{01}(t)) = G_{co} T_{01}(t), \\ \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_{02}(t)}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_{02}(t)}{dt} + T_{02}(t) = k T_{01}(t), \\ \tau_{d2} \frac{dT_{02}^*(t)}{dt} + T_{02}^*(t) = k_{d2} T_{02}(t), \end{array} \right. \quad (1)$$

Дополнительные обозначения в системе уравнений (1) следующие: τ_{di} и k_{di} – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи i -го датчика температуры; G_{co} – расход теплоносителя во внутреннем контуре СО здания, определяемый циркуляционным насосом (см. рис. 1); G_1 – номинальный расход теплоносителя на входе РО; $x_1(\Delta T)$ – выходная величина нелинейной зоны нечувствительности регулятора P2; $x_2(t)$ – выходная величина нелинейной зоны ограничения (насыщения) в регуляторе P2; k_1 и k_2 – коэффициенты пропорциональности соответственно нелинейных зон нечувствительности и ограничения регулятора P2; X_d – зона нечувствительности регулятора

P2; X_p – зона пропорциональности регулятора P2; T_u – постоянная регулятора P2.

Модель водоструйного элеваторного узла в нерегулируемых тепловых пунктах зданий представляется в виде трехходового смешительного клапана с фиксированным коэффициентом подмеса, определяемым соотношениями расходов G_{01} и G_{co} . С учетом этого система уравнений, описывающих СО здания с элеваторным узлом, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{01}(t) + G_{0k}(t) = G_{co}(t), \\ T_1 G_{01}(t) + T_{02}(t)(G_{co} - G_{01}(t)) = G_{co} T_{01}(t), \\ \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_{02}(t)}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_{02}(t)}{dt} + T_{02}(t) = k T_{01}(t). \end{array} \right. \quad (2)$$

Уравнение для определения величины тепловой мощности $W(t)$ в каждом здании с учётом применения автоматизированных ИТП или элеваторных узлов следующее:

$$W(t) = G_{01}(t)T_1(t) - G_{02}(t)T_2(t). \quad (3)$$

Расходы теплоносителя на вводах тепловых пунктов комплекса зданий существенно зависят от положения штоков регулирующих клапанов в автоматизированных ИТП. Определение соотношения расходов выполняется на основе экспериментальных исследований для зданий комплекса с учетом системы уравнений следующего вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n G_j(t) = G_0, \\ \sum_{j=1}^n S_j(t)G_j(t) |G_j(t)| - \sum_{i=1}^m H_{ni}(t) = 0, \\ S_j(t) = \Delta P_j(t) / G_j^2(t), \\ G_{pj}(t) = \frac{G_0}{\sum_{k=1}^n \sqrt{S_j(t) / S_k(t)}}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Здесь G_0 – общий расход теплоносителя в гидравлической системе комплекса из 5-ти зданий; G_j – расход теплоносителя на вводе j – здания; S_j – гидравлическое сопротивление на вводе j – здания; H_{ni} – напор, создаваемый сетевыми насосами; ΔP_j – перепад давления между подающим и обратным трубопроводами на вводе j – здания; G_{pj} – расчётный расход теплоносителя на вводе j – здания, определяющий расход G_1 в системе уравнений (1); S_k – гидравлическое сопротивление на вводе k – здания.

Математическая модель в виде систем уравнений (1), (2) и (4) [7], дополненных экспериментальными данными, позволяет определять параметры теплоносителя на входе и выходе исследуемого комплекса зданий при любых изменениях, вызванных, в том числе, изменениями температуры наружного воздуха или качественным регулированием тепла в автономных источниках тепла, количественным регулированием в автоматизированных ИТП и др.

Основные результаты расчётов. С помощью имитационного моделирования в среде Simulink исследуем возможности управления процессом теплопотребления комплекса из 5 зданий с совместным применением автоматизированных ИТП и элеваторных узлов. Используем систему уравнений (1) для зданий с автоматизированными ИТП, систему уравнений (2) для зданий с элеваторным узлом, а

также систему уравнений (4) для расчёта перераспределения расходов исследуемого комплекса зданий. Для определения величины тепловой мощности в зданиях комплекса используем уравнение (3).

Параметры моделирования. В начальный момент времени $t=0$ выполняется переход автоматизированных ИТП здания 1 и здания 3 в режим пониженного теплопотребления за счет уменьшения величины T_3 на 3°C , а в автоматизированном ИТП здания 2 осуществляется переход в режим натопа (за счет увеличения T_3 на 3°C), причём с запаздыванием по времени на 15 мин. относительно исходных процессов в здании 1 и в здании 3. Длительность имитационного моделирования t_{m0} составляет 2 часа 30 мин. Исходные параметры для моделирования и для зданий представлены в табл. 2.

Таблица 2. Исходные параметры для моделирования

Наименование параметра, его обозначение	Величина и размерность параметров				
	здание 1	здание 2	здание 3	здание 4	здание 5
коэффициент преобразования, k	0,76	0,75	0,73	0,81	0,79
постоянная времени, τ_1	1369 с	1317 с	1380 с	903 с	886 с
постоянная времени, τ_2	558 с	619 с	571 с	290 с	343 с
максимальный расход в СО здания, G_{co}	16 м ³ /ч	14 м ³ /ч	19 м ³ /ч	9 м ³ /ч	7 м ³ /ч
номинальный расход на вводе в здание, G_1	14,7 м ³ /ч	10,2 м ³ /ч	17,5 м ³ /ч	5,7 м ³ /ч	4,6 м ³ /ч
температура наружного воздуха, T_a	-1,0 °C				
начальная температура теплоносителя T_1	66,0 °C				

Основные типы датчиков температуры в системе автоматизации ИТП и их параметры представлены в табл. 3.

Таблица 3. Постоянные времени датчиков температуры

Тип датчика	Назначение	Условное обозначение	Величина, размерность
ESMU-100	погружной датчик температуры теплоносителя в гильзе	τ_{d1}	32 с
ESMT	датчик температуры наружного воздуха	τ_{da}	900 с

Основные характеристики регулирующего клапана PO типа VB2 фирмы Danfoss представлены в табл. 4.

Основные характеристики исполнительного механизма АМЕ 20 фирмы Danfoss для работы с регулирующим клапаном VB2 представлены в табл. 5.

Таблица 4. Характеристики регулирующего клапана типа VB2

Наименование параметра, его обозначение	Величина, размерность
диаметр, D_v	40 мм
коэффициент, k_{kvs}	25 м ³ /ч
условное давление, P_v	2,5 МПа
температура, T_{min}	5 °C
температура, T_{max}	150 °C
ход штока, h	10 мм

Таблица 5. Характеристики исполнительного механизма типа АМЕ 20

Наименование параметра	Величина, размерность
напряжение	24 В
частота	50/60 Гц
потребляемая мощность	4 Вт
тип управляющего сигнала	Аналоговый
развиваемое усилие	450 Н
ход штока	10 мм
время перемещения штока на 1 мм	15 с/мм
входной сигнал 1	0 – 10 В; $R_f=24$ кОм
входной сигнал 2	0–20 мА; $R_f=500$ кОм
выходной сигнал	0(2) – 10 В
минимальная температура окружающей среды	0 °С
максимальная температура окружающей среды	55 °С

Основные значения параметров блоков регулирования технологических контроллеров ТК1 (аналогичны специализированным контроллерам типа ECL Comfort) в автоматизированных ИТП представлены в табл. 6.

Начальные значения параметров для имитационного моделирования представлены в табл. 7.

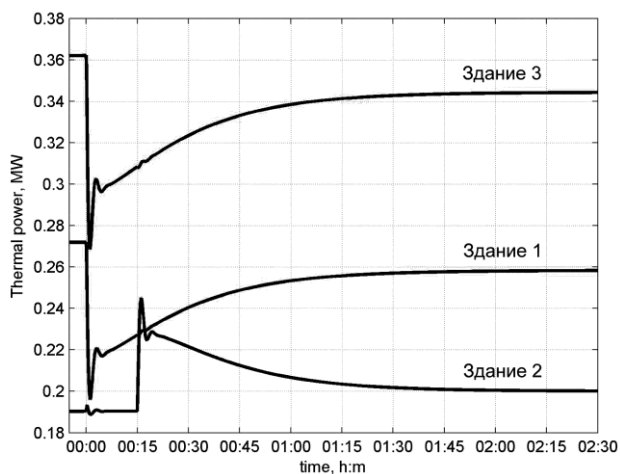
Результаты имитационного моделирования. Результаты расчётов изменений величин тепловой мощности (измеряется в МВт) для зданий с автоматизированными ИТП и с элеваторными узлами представлены соответственно на рис. 3а и рис. 3б.

Таблица 6. Параметры контроллеров ТК1 в автоматизированных ИТП

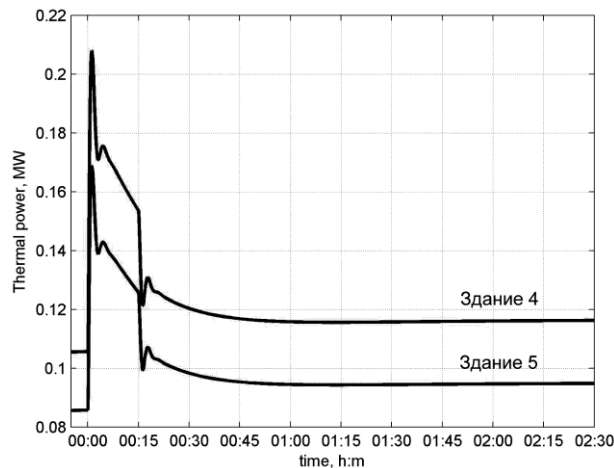
Наименование параметра, его обозначение	Величина, размерность		
	здание 1	здание 2	здание 3
зона нечувствительности X_d	0 °С	0 °С	0 °С
зона пропорциональности X_p	90 °С	90 °С	86 °С
коэффициент преобразования k_m	100 %	100 %	100 %
постоянная T_u	13 с	10 с	12 с

Таблица 7. Начальные параметры для имитационного моделирования

Наименование параметра, обозначение	Величина и размерность параметров				
	здание 1	здание 2	здание 3	здание 4	здание 5
начальная температура теплоносителя в системе, T_2	45,1 °С	44,8 °С	43,3 °С	42,7 °С	41,6 °С
начальный расход на вводе в здание, G_{01}	11,2 м ³ /ч	7,7 м ³ /ч	13,7 м ³ /ч	3,9 м ³ /ч	3,0 м ³ /ч



а



б

Рис. 3. Характеристики тепловой мощности для комплекса из 5 зданий

Характеристики процесса изменения температуры теплоносителей в обратных трубопроводах исследуемых СО зданий показаны на рис. 4.

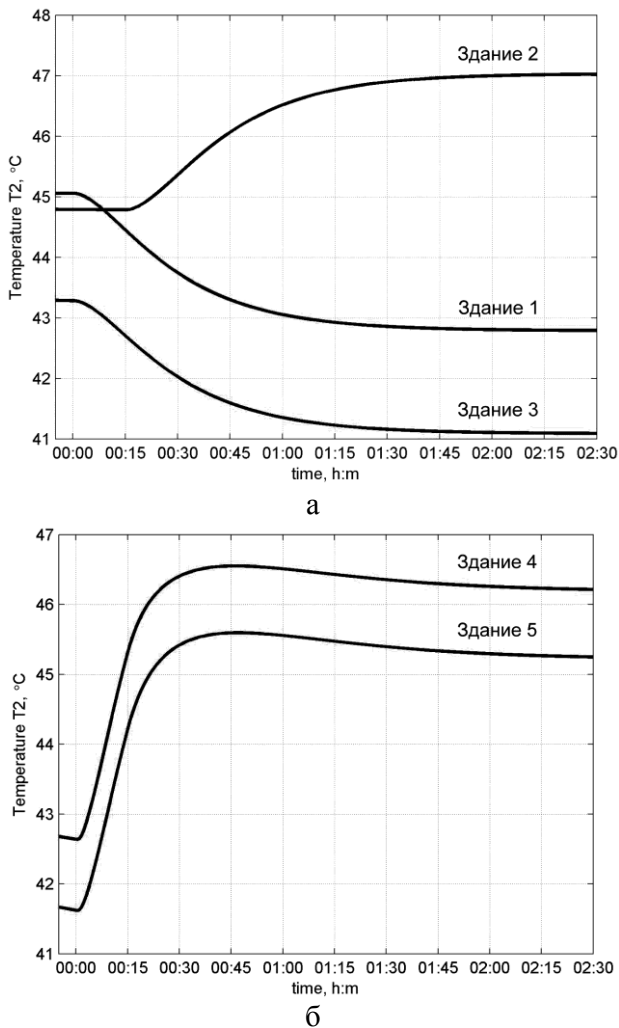


Рис. 4. Температура теплоносителей в обратных трубопроводах СО зданий с автоматизированными ИТП (а) и с элеваторными узлами (б)

Из анализа характеристик на рис. 3а следует, что исходные величины тепловой мощности при переходе автоматизированных ИТП здания 1 и здания 3 в режим пониженного теплотребления (при снижении величины T_3) после окончания переходных процессов в целом уменьшаются, а в автоматизированном ИТП здания 2 за счет увеличения T_3 – тепловая мощность $W(t)$ по отношению к начальной величине возрастает. Одновременно с переходными процессами в автоматизированных ИТП протекают динамические процессы и в элеваторных узлах, причём при скачкообразном уменьшении величин $W(t)$ в автоматизированных ИТП здания 1 и здания 3 в первые моменты времени тепловая мощность $W(t)$ в них скачком увеличивается до некоторой величины, а затем по экспоненциальному закону

уменьшается по времени до момента времени $t_m=15$ мин. Затем при дальнейшем увеличении в автоматизированном ИТП здания 2 температуры T_3 наблюдается скачкообразное уменьшение величин $W(t)$ в элеваторных узлах с последующим их плавным переходом в установившийся режим. В исследуемом случае в элеваторных узлах в целом тепловая мощность $W(t)$ по отношению к начальной величине возрастает.

Полученные результаты исследований подтверждают экспериментальные данные [5] и результаты имитационного моделирования [7] о наблюдаемом эффекте, характерном для комплекса зданий с совместным применением автоматизированных ИТП и элеваторных узлов, приводящий к снижению экономии тепловой энергии при переходе в режим пониженного теплотребления автоматизированных ИТП зданий. Однако в отличие от данных [5, 7] установлено, что при переходах автоматизированных ИТП здания 1 и здания 3 в режим пониженного теплотребления, а автоматизированного ИТП здания 2 в режим натопа, причём с запаздыванием по времени, также в этом случае для исследуемого комплекса зданий с учётом 2-х зданий с элеваторными узлами наблюдается эффект, приводящий в целом к снижениям как эффективности функционирования распределённых энергосистем этого комплекса, так и экономии тепловой энергии.

Сравнительный анализ результатов на рис. 3 и рис. 4 показывает, что при переходных процессах в тепловых пунктах комплекса зданий наблюдаются существенные колебания величин тепловой энергии, тогда как в обратных трубопроводах температуры теплоносителей T_{02} полностью сглаживаются каждой системой отопления здания, т.е. СО комплекса зданий функционируют как низкочастотные фильтры.

Выводы:

1. Представлены особенности математического моделирования управления процессом перехода автоматизированных ИТП двух зданий в режим пониженного теплотребления и одновременного перехода автоматизированного ИТП здания 2 в режим натопа с учётом влияния этих процессов на динамику зданий с элеваторными узлами.

2. С помощью имитационного моделирования в среде Simulink на основе математической модели в виде систем уравнений (1), (2) и (4) исследованы особенности совместного функционирования автоматизированных ИТП и элеваторных узлов и показано, что при переходных процессах в тепловых пунктах комплекса зданий

наблюдаются существенные колебания тепловых мощностей, тогда как в обратных трубопроводах температуры теплоносителей полностью сглаживаются каждой системой отопления здания.

3. В условиях ограниченных инвестиций при реконструкциях существующих систем теплоснабжения зданий на базе элеваторных узлов необходимо учитывать, что частичное создание автоматизированных ИТП для комплекса зданий приведёт в целом к снижению экономии тепловой энергии, если не применять при этом определённых технических решений для устранения отрицательных эффектов от оставшихся элеваторных узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ливчак, В.И. За оптимальное сочетание автоматизации регулирования подачи и учета тепла // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 1998. №4. С. 36-38.
2. Грудзинский, М.М. Энергоэффективные системы отопления / М.М. Грудзинский, С.И. Прижижецкий, В.Л. Грановский // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 1999. №6. С. 38-39.
3. Табуничиков, Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табуничиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.
4. Гридчин, А.М. Опыт внедрения современных энергоэффективных технологий на основе автоматизации распределенных энергосистем зданий вуза / А.М. Гридчин, А.Н. Потепенко, В.С. Лесовик, А.В. Белоусов, Е.А. Потепенко // Строительные материалы. 2005. № 2. С. 2-5.
5. Потепенко, А.Н. Автоматизированное управление процессом централизованного теплоснабжения распределенного комплекса зданий с учетом моделирования этих процессов / А.Н. Потепенко, Е.А. Потепенко, А.С. Солдатенков, А.О. Яковлев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2007. № 7-8. С. 120-134.
6. Солдатенков, А.С. Разработка и исследование математической модели управления автоматизированным индивидуальным тепловым пунктом / А.С. Солдатенков, А.Н. Потепенко, С.Н. Глаголев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. №1. С. 41-48.
7. Потепенко, А.Н. Математическое моделирование процессов отопления распределенного комплекса зданий при различных схемах теплоснабжения / А.Н. Потепенко, А.С. Солдатенков, Е.А. Потепенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т13, №4(4). С. 998-1002.

THE FEATURES OF MATHEMATICAL MODEL OF COMPLEX BUILDING MANAGEMENT WITH DISTRIBUTED POWER SUPPLY SYSTEMS

© 2012 A.N. Potapenko, A.S. Soldatenkov, E.A. Potapenko, S.N. Glagolev

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Possibilities of mathematical modeling of heatconsumption process control of a complex from 5 buildings with application of the automated individual thermal points and elevator units in the conditions of restricted investments are shown. It is shown that at transient processes in thermal points of a complex of buildings fluctuations of sizes of thermal rating whereas in return pipelines the temperature of heat-carriers completely smooth out are observed.

Key words: *complex of buildings, individual thermal point, automatic control, mathematical modeling*

Anatoliy Potapenko, Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Electrotechnics and Automation. E-mail: potapenko@intbel.ru

Aleksey Soldatenkov, Senior Teacher at the Department of Electrotechnics and Automation. E-mail: aser@pisem.net

Evgeniy Potapenko, Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Traffic Management and Road Safety. E-mail: potapenko1@intbel.ru

Sergey Glagolev, Doctor of Economy, Professor. E-mail: sergeyglagolev@yandex.ru