

УДК: 697.34; 681.51.

А. А. БОБУХ, канд. техн. наук, доцент

Д. А. КОВАЛЕВ, ассистент

Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ИХ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

*Рассматриваются вопросы исследования объектов управления закрытой системы централизованного теплоснабжения на физических моделях индивидуального теплового пункта и системы отопления.*

*Розглядаються питання дослідження об'єктів керування закритої системи централізованого теплопостачання на фізичних моделях індивідуального теплового пункту і системи опалення.*

### Введение

Актуальным, учитывая высокую стоимость топливно-энергетических ресурсов, является решение задач по повышению эффективности объектов управления закрытой системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) за счет усовершенствования существующих или разработки новых систем автоматического управления. Закрытая СЦТ по характерным признакам относится к «сложным системам» [1], которым присущи: наличие подсистем; наличие иерархической (многоярусной) структуры системы управления с большим числом связей между подсистемами; наличие элементов самоорганизации, которые определяют поведение подсистем управления в зависимости от изменения внешних условий; наличие в системе относительно большой номенклатуры технических средств, которые различают по принципу действия и роли, которую они выполняют в системе; участие оперативного персонала в процессе управления технологическими процессами. Особенностью закрытой СЦТ как сложной системы является технологическая невозможность проведения активных экспериментов [2] в отопительный сезон для получения необходимых экспериментальных данных с целью разработки математических моделей, необходимых для повышения экономической эффективности, в частности, снижения расхода потребляемой тепловой энергии, при реализации утвержденного температурного графика системы отопления. Для преодоления указанной технологической невозможности сотрудниками кафедры теплохладоснабжения Харьковской национальной академии городского хозяйства была разработана и реализована физическая модель закрытой СЦТ (ФМСЦТ), состоящая из комплекта физических моделей следующих объектов управления: источника тепловой энергии (ФМИТЭ), индивидуального теплового пункта (ФМИТП), системы отопления (ФМСО) и системы горячего водоснабжения (ФМСГВ).

Принципиальная схема закрытой ФМСЦТ условно изображена на рисунке 1. Для реализации этой физической модели используются: электрическая энергия, поступающая от щита электрического (ЭЩ), напряжение питания 220 В, частота 50 Гц; и вода (1) – из городского водопровода (В). В комплект закрытой ФМСЦТ входят:

1) ФМИТЭ состоящая из: электрического нагревателя (2) с блоком термо-электрических нагревателей (ТЭН), напряжение питания которых 220 В, частота 50 Гц, мощность 4–6 кВт для системы отопления; циркуляционного (подкачивающего) электронасоса (3), напряжение питания 220 В, частота 50 Гц; обратного клапана (4); экспанзомата (расширительного бачка) (5); предохранительного клапана (6); фильтров сетчатых – 2 шт. (7, 8); вентилей пластмассовых – 7 шт. (9–15); термометров манометрических показывающих жидкостнонаполненных – 3 шт.

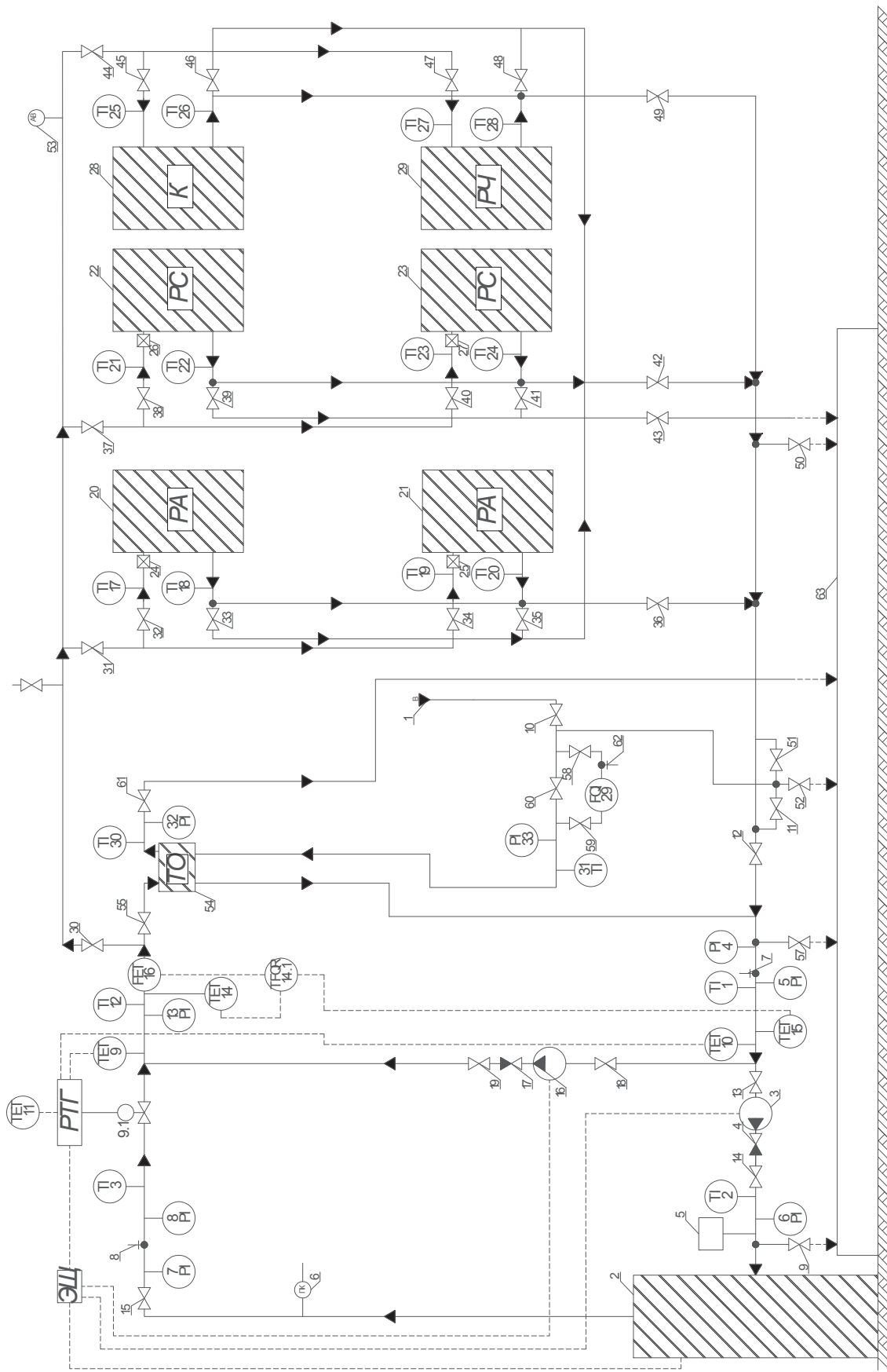


Рис. 1. Принципиальная схема физической модели системы централизованного теплоснабжения

(позиции 1; 2; 3), шкала 0–120 оС; манометров деформационных показывающих трубчатых – 5 шт. (из них – 1 шт. (позиция 4), шкала 0–1,0 МПа и 4 шт. (позиции 5; 6; 7; 8), шкала 0–1,6 МПа);

2) ФМИТП состоящая из: смесительного электронасоса (16), напряжение питания 220 В, частота 50 Гц; обратного клапана (17); вентилей пластмассовых – 2 шт. (18; 19); микропроцессорного контролера (МПК) типа РТГ в комплекте [3], напряжение питания которого 220 В, частота 50 Гц (позиции 9; 9.1; 10; 11); термометров манометрических показывающих жидкостнонаполненных – 4 шт. (из них 3 шт. (позиции 1; 2; 3) относятся также к ФМИТЭ, 1 шт. (позиция 12), все имеют шкалу 0–120 оС; манометров деформационных показывающих трубчатых – 4 шт. (из них – 3 шт. (позиции 5; 6; 8) относятся к ФМИТЭ, имеют шкалу 0-1,6 МПа и 1 шт. (позиция 13), шкала 0–1,0 МПа;

3) ФМСО состоящая из: приборов отопления: радиаторов алюминиевых (РА) – 2 шт. (20; 21) и – стальных (РС) – 2 шт. (22; 23), с индивидуальными терморегуляторами – 4 шт. (24; 25; 26; 27); конвектора (К) «Аккорд» (28) и радиатора чугунного (РЧ) (29); вентилей пластмассовых – 23 шт. (30; 31–36; 37; 38–42; 43; 44–48; 49–52), с помощью которых можно смонтировать подключение любого прибора отопления или всех вместе; автоматического воздухоотводника (53); счетчика потребляемой тепловой энергии типа SUPERCAL 539 в комплекте (позиции 14; 15; 16, 14.1); термометров манометрических показывающих жидкостнонаполненных – 12 шт. (позиции 17-28), шкала 0–120 оС;

4) ФМСГВ состоящая из: пластинчатого теплообменника (ТО) типа СВ-14 20Н (54); вентилей пластмассовых – 7 шт. (55–61); фильтров сетчатых (62); крыльчатого счетчика холодной воды типа КВ-1,5 (максимальное давление воды – 1 МПа) (позиция 29); термометров манометрических показывающих жидкостнонаполненных – 2 шт. (позиции 30; 31), шкала 0–120 оС; манометров деформационных показывающих трубчатых – 2 шт. (позиции 32; 33), шкала 0–1 МПа; а также – бак для слива воды из ФМИТЭ, ФМИТП, ФМСО, ФМСГВ (позиция 63) в канализацию.

В комплект МПК типа РТГ входят:

а) электронный блок с передней панелью, который включает микропроцессор, нормирующие усилители и преобразователи сигналов, силовые элементы, элементы гальванической развязки и питания. По принципу действия электронный блок представляет собой ПИД – регулятор, реализованный с помощью микропроцессора. На фрагменте функциональной схемы автоматизации технологических процессов (ФСА ТП) ФМИТП (2) и ФМСО (3), выполненной адресным методом [4] (рис. 2), этот блок условно изображен как

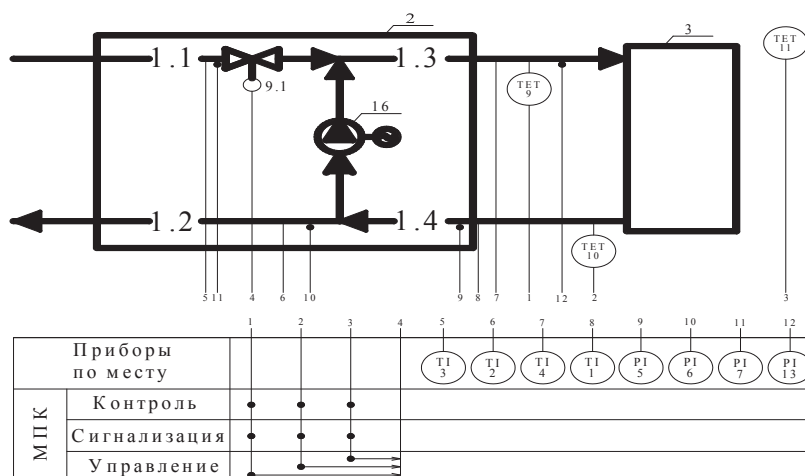


Рис. 2. Фрагмент ФСА ТП ФМИТП (2) и ФМСО (3), где 1.1 – горячий теплоноситель после ФМИТЭ (на схеме не показана); 1.2 – теплоноситель в ФМИТЭ; 1.3 – горячий смешанный теплоноситель после ФМИТП (в ФМСО); 1.4 – теплоноситель после ФМСО

«МПК» с функциями: автоматического контроля, сигнализации и управления соответствующими параметрами;

б) первично-передающие преобразователи (ПП/ПрП) сигналов для контроля температуры на базе микросхем – термопреобразователей фирмы «Analog Device» с выходными сигналами постоянного тока. Количество ПП/ПрП зависит от количества каналов управления. На ФСА ТП изображены три ПП/ПрП: позиция 9 – для контроля температуры горячего смешанного теплоносителя после ФМИТП (в ФМСО); позиция 10 – для контроля температуры теплоносителя после ФМСО; позиция 11 – для контроля температуры наружного воздуха (с имитатором этой температуры);

в) однооборотный электропривод с дисковым оборотным затвором в качестве исполнительного механизма (ИМ) (позиция 9.1). Максимальный угол поворота вала этого затвора – 90°. Электропривод можно разъединить с редуктором дискового оборотного затвора с помощью муфты. При этом вал электропривода оборачивается маховиком ручного управления. Муфта может служить также для отключения МПК типа РТГ без влияния на электрические коммутационные элементы.

На фрагменте ФСА ТП (рис. 2) изображены также соответственно показывающие контрольно-измерительные приборы для контроля температуры и давления.

При проведении экспериментов на ФМИТП и ФМСО исследовалась система автоматического управления (САУ) температурой горячего смешанного теплоносителя на выходе ИТП – Y (ТЕТ 9) (на входе СО) с коррекцией по температурам: наружного воздуха – X<sub>1</sub> (ТЕТ 11) и теплоносителя в обратном трубопроводе на выходе из СО – X<sub>2</sub> (ТЕТ 10). Температурный график управления указанной температурой (Y) в памяти МПК типа РТГ показан на рис. 3.

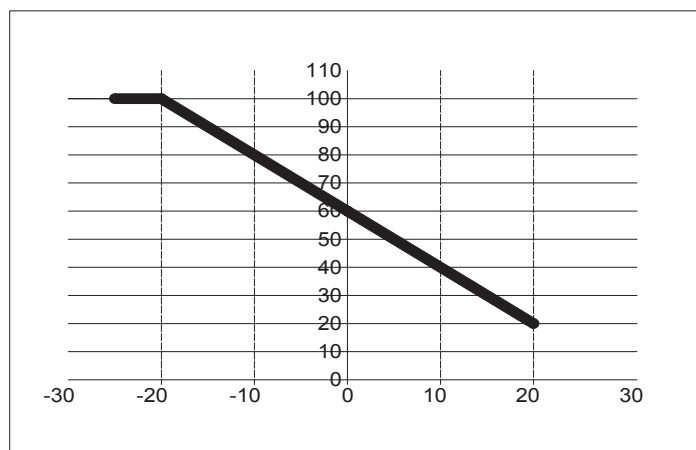


Рис. 3. Температурный график управления температурой горячего смешанного теплоносителя (Y) после ФМИТП (в ФМСО) с коррекцией по температуре наружного воздуха (X<sub>1</sub>) как возмущающего воздействия

Приведенному температурному графику соответствуют уравнения:

$$Y = 20 + \frac{100 - 20}{40} (20 - X_1) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

или

$$Y = 100 - \frac{100 - 20}{40} (20 + X_1) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

В результате исследований указанной САУ получен массив экспериментальных данных (по 48 данных для каждого из параметров), который обработан по методу наименьших квадратов [5] и разработана математическая модель вида  $Y=f(X_1; X_2)$ .

$$Y = 0,431 - 0,003 \cdot X_1 + 1,042 \cdot X_2 \quad (3)$$

Следует отметить, что при проведении исследований использовалось от одного до шести отопительных приборов ФМСО. Максимальные, минимальные а также средние значения параметров массивов экспериментальных данных приведены в табл. 1, а значения критериев Стьюдента и Фишера [5] для математической модели (3) – в табл. 2.

Таблица 1  
Максимальные, минимальные и средние значения параметров массивов экспериментальных данных

Условные обозначения параметров	Значения параметров		
	Максимальные	Средние	Минимальные
Y	81,9	66,1	38,3
X <sub>1</sub>	-23,6	-14,4	18,1
X <sub>2</sub>	78,7	62,9	36,4

Таблица 2  
Значения критериев Стьюдента ( $t$ - критерий) и Фишера ( $F$ ) для математической модели  $Y=f(X_1; X_2)$

Условные обозначения параметров	Табличные значения		Расчетные значения	
	$t$ - критерий <sub>табл</sub>	$F$ <sub>табл</sub>	$t$ - критерий <sub>расч</sub>	$F$ <sub>расч</sub>
X <sub>1</sub>	12,71	4052	-20,23	4524
X <sub>2</sub>			64,9	

### Выводы

Из анализа полученных значений для критериев Стьюдента можно сделать вывод, что во всех случаях расчетные значения больше табличных, т. е. в разработанной математической модели для управления параметрами технологических процессов ФМИТП все значения коэффициентов параметров по степени их влияния значимы и их значения должны быть учтены для расчета управляемого параметра. Из сравнения значений критериев Фишера можно сделать вывод, что условие  $F_{расч} > F_{табл}$  выполняется, следовательно, полученная математическая модель в первом приближении может быть использована для усовершенствования САУ температурой горячего смешанного теплоносителя реального ИТП.

В результате проведенных исследований объектов управления закрытой СЦТ (ФМИТП и ФМСО) была разработана математическая модель для САУ температурой горячего смешанного теплоносителя на выходе из ФМИТП в ФМСО. При управлении указанной температурой для исследуемой САУ значения параметров регулятора необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить оптимальное управление в требуемой точке температурного графика. Для оптимизации же системы в нескольких точках необходима коррекция параметров регулятора в соответствии с изменениями температуры наружного воздуха. Поэтому при решении этой задачи для реального объекта управления в дальнейшем целесообразно применение адаптивного подхода, при котором управление температурой горячего смешанного теплоносителя на выходе из ИТП в СО может осуществляться с необходимой коррекцией параметров теплоносителя в реальном времени.

### Список литературы

1. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Основы теории сложных систем. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2007. – 620 с.
2. Славутский Л. А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента: Учебное пособие / Л. А. Славутский. – Чебоксары : Изд-во ЧГУ, 2006. – 200 с.

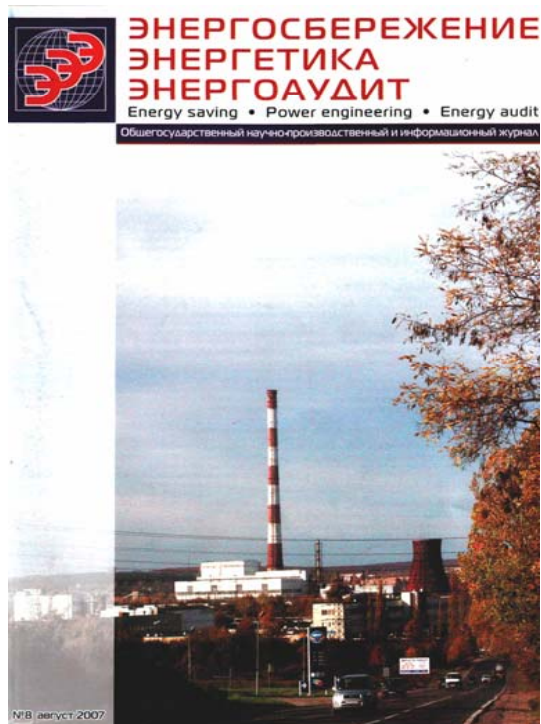
3. Регулятор температуры автоматический двухканальный с погодной коррекцией: Паспорт и инструкция по эксплуатации. – Харьков: ЗАО «Теплокомплект», 2009. – 26 с.
4. Бобух А.О. Автоматизация инженерных систем: Навч. посібник. (Гриф МОН України) – Харків: ХНАМГ, 2005. – 212 с.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2007. – 912 с.

## RESEARCH OF OBJECTS CONTROL OF THE CLOSED SYSTEM CENTRALIZED HEAT-SUPPLY ON THEIR PHYSICAL MODELS

A.A.BOBUKH, Cand. Tech. Scie., associate professor  
D.A.KOVALEV, assistant

*The questions research of objects control of the closed system centralized heat-supply are examined on the physical models of individual thermal point and system of heating.*

Поступила в редакцию 27.09 2012 г.



**Уважаемые предприниматели!  
Подписчиками журнала  
«Энергосбережение • Энергетика •  
Энергоаудит»  
являются руководители предприятий  
промышленности и энергетики,  
жилищно-коммунального хозяйства,  
агропромышленного комплекса, ВУЗов.  
Разместив свою рекламу на страницах  
журнала, Вы построите еще одну ступеньку  
к вершине своего бизнеса!  
Постоянным подписчикам журнала  
– скидка на размещение рекламной  
информации.  
На сайте [eee-journal.com.ua](http://eee-journal.com.ua) помещена  
информация об условиях размещения  
рекламы**