

УДК 677:697.1:65.011

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОТЛА ТЕПЛООВОГО НАСОСА, ОТАПЛИВАЮЩЕГО  
АВТОНОМНО ТЕКСТИЛЬНЫЕ ЦЕХА И ПРОИЗВОДСТВА\***

**COMPUTER-AIDED POWER CONTROL OF THE ELECTRIC BOILER HEAT PUMP  
HEATING AUTONOMOUS TEXTILE WORKSHOPS AND PRODUCTION**

*С.В. ФЕДОСОВ, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, А.Б. ПЕТРУХИН*

*S.V. FEDOSOV, V.N. FEDOSEEV, A.B. PETRUKHIN*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: a.petruhin@mail.ru

*В статье предложена функционально-структурная схема автоматизированного управления мощностью электрического котла, интегрированного с воздушным тепловым насосом при их совместной работе.*

*In the article the functional-structural scheme of the automated control of power of the electric boiler integrated with the air heat pump at their joint work is offered.*

**Ключевые слова:** воздушный тепловой насос, электрокотел, теплопотери, регулирование, управление, автоматизация, отопление, технологии.

**Keywords:** air heat pump, electric boiler, heat loss, regulation, control, automation, heating, technology.

По результатам выполненных на кафедре ОПГХ ИВГПУ исследований [6...12], [14] было установлено, что при эксплуатации комбинированных ВТН в разных климатических условиях, особенно в диапазоне наружных температур до  $-30...-40^{\circ}\text{C}$ , рекомендуется применять совместный режим работы ВТН в паре с маломощным электрическим нагревателем (электротеном). Если в помещении площадью

$S=100...120\text{ м}^2$  поставить тепловой насос большой мощности (более  $16...18\text{ кВт}$ ), то это будет невыгодно по следующим причинам. Он громоздок и будет работать в полную силу примерно 1,5 месяца. В зависимости от сезона (отопительный сезон  $7...8$  месяцев), климата и других условий, количество очень холодных дней (в условиях Центрального федерального округа) с температурой  $-15...-30^{\circ}\text{C}$  не превышает  $20...25\%$  от

\* Статья выполнена в рамках проекта «Разработка технологии использования возобновляемой энергии аэротермических рециркуляционных воздушных тепловых насосов со встроенными рекуператорами» по государственному заданию Министерства образования и науки Ивановскому государственному политехническому университету.

длительности отопительного сезона.

Поэтому тепловую мощность ВТН и его стоимость подбирают, учитывая наличие дополнительного электротена и температуру окружающего воздуха. Для некоторых обстоятельств и условий, когда окружающий воздух и климат более комфортный, применяют, в качестве дополнительного теплового помощника, экологоэнергоэффективные схемы, например ветрогенераторы или включают в схему теплового насоса солнечные панели, солнечные коллекторы, солнечные водонагреватели.

Такие возможности под заказ предусматриваются в некоторых конструкциях ВТН. Надо отметить, что применение мало-мощного электротена при совместной работе с воздушным тепловым насосом позволит добиться следующих преимуществ:

- 1) капитальные затраты, входящие в общую стоимость ВТН небольшой мощности от 3 до 7 кВт, становятся достаточно низкими;
- 2) эксплуатационные расходы оптимальны в зависимости от режима климата, ночного и дневного электротарифа, особенно для сельской местности и условий эксплуатации данной системы;
- 3) срок окупаемости системы ВТН с

электрическим котлом с учетом перечисленных льготных условий составляет 2...2,5 г.

Таким образом, если тепловой мощности теплового насоса не хватает, то недостающую мощность добавляет электрический котел (ЭК) [13].

Рассмотрим автоматизированное регулирование мощности электрического котла в системе комбинированного отопления помещения в зависимости от изменения температуры воздуха на улице, в соответствии с рабочей характеристикой воздушного теплового насоса (ВТН), считая что мощность по паспорту составляет  $P=7...12$  кВт при  $A20^{\circ}C/W50^{\circ}C$ , где  $A$  – атмосферный воздух,  $W$  – вода.

Принимаем следующие исходные данные для расчета: строение  $S=120$  м<sup>2</sup>, температура в помещении  $+24^{\circ}C$ . Теплотери по проекту  $2$  Вт/м<sup>2</sup>·°C. Температурный режим в отопительный период от  $-30$  до  $+15^{\circ}C$ . Температура теплоносителя (воды), нагретая ВТН в буферной емкости (БЁ) и рукавах теплого пола от  $+35$  до  $+45^{\circ}C$ .

Согласно расчетам в ранее опубликованных работах [1], [3], [4] и, используя on-line калькулятор, имеем значения расходных показателей и параметров за отопительный период, приведенные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

S=100 м <sup>2</sup> ; уд. теплотери = 2 Вт/ч·°C; t <sub>воды</sub> =50°C; мощность теплового насоса = 12кВт/ч; мощность электродвигателя насосов =3 кВт											
Общие параметры		Геотермальный тепловой насос (ГТТН)			Воздушный тепловой насос (ВТН)			Рециркуляционный тепловой насос (РВТН)			
Наружная температура воздуха (улица), °C	Теплотери здания, кВт/ч	СОР	Производительность ГТТН, кВт/ч	Дополнительная мощность, кВт/ч	СОР	Производительность ВТН, кВт/ч	Дополнительная мощность, кВт/ч	СОР	Производительность РВТН, кВт/ч	Дополнительная мощность, кВт/ч	
-30	10,8	2,5	7,5	3,3	1,0	3	7,8	1,87	5,61	5,19	
-25	9,8	2,5	7,5	2,3	1,0	3	6,8	1,89	5,67	4,13	
-20	8,8	2,5	7,5	1,3	1,0	3	5,8	1,91	5,73	3,07	
-15	7,8	2,5	7,5	0,3	1,2	3	4,2	1,93	5,79	2,01	
-10	6,8	2,5	7,5		1,3	3	2,9	1,95	5,85	0,95	
-5	5,8	2,5	7,5		1,6	3	1,8	1,97	5,91		
0	4,8	2,5	7,5		1,7	3		1,99	5,97		
5	3,8	2,5	7,5		1,85	3		2,01	6,03		
10	2,8	2,5	7,5		2,12	3		2,12	6,36		
15	1,8	2,5	7,5	-	2,3	3	-	2,3	6,9	-	
20	0,8	2,5	7,5	-	2,5	3	-	2,5	7,5	-	

Данные табл. 1 позволяют судить о сравнительной эффективности показателей трех видов тепловых насосов в одинаковых

климатических условиях согласно проведенному эксперименту в условиях текстильного производства. Рециркуляцион-

ный воздушный тепловой насос (ВТН) почти в 2...2,5 раза экономит электроэнергию в сравнении с электроотоплением (COP 1,9...2,5).

Для нашего случая функционально - структурная схема автоматизированного управления мощностью электрического котла, интегрированная с ВТН, выглядит следующим образом (рис 1).

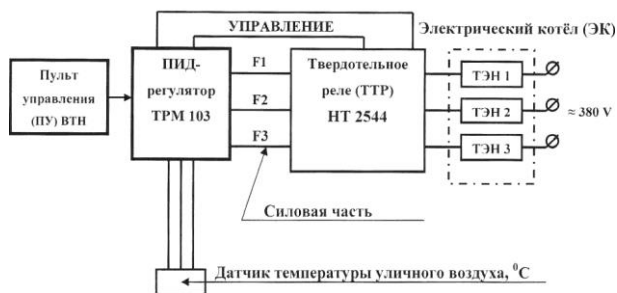


Рис.1

Задача функционально-структурной схемы – поддерживать температуру в помещении. В этом случае используем ПИД (пропорционально-интегрально-дифференцирующий) - регулятор (ТРМ101, рис. 2, ТРМ 103 и др.), задаем ему конкретную уставку. Как вариант имеем ПИД - регулятор с выходом "Т" (ТРМ 101-ТР) или (ТРМ103-ТР) в режиме ШИМ, то есть широтно-импульсная модуляция + ТТР - твердотельное реле. Схема осуществляет плавное регулирование электрической мощности от 0 до 3 кВт. Цена деления 0...1%.

#### Элементная база схемы управления

ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трех составляемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования  $\Delta t$ ), второе – интеграл сигнала рассогласования, третье – производная сигнала рассогласования.

Твердотельное реле (ТТР), служащее для включения и выключения высокоомощностной цепи с помощью низких напряжений, подаваемых на клеммы управления ТТР, содержит датчик, который реагирует на вход (управляющий сигнал) и твердотельную электронику, включающую высокоомощностную цепь.



Рис. 2

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – это метод преобразования сигнала, при котором изменяется длительность импульса (скважность), а частота остается константой (постоянной).

ШИМ-контроллер – устройство, которое содержит - использует в себе ряд схемотехнических решений для управления силовыми ключами, что необходимо для стабилизации выходных параметров.

Функциональный порядок работы данной комбинированной системы отопления на блок-схеме (рис. 3) выглядит следующим образом:

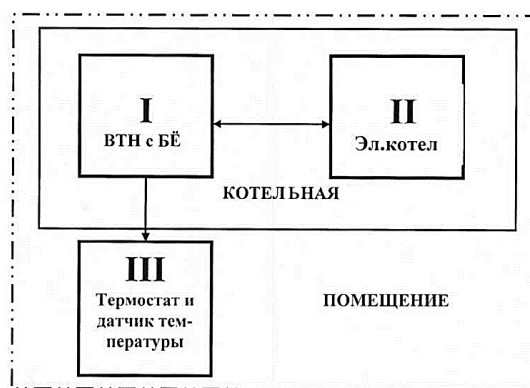


Рис. 3

I – Тепловой насос работает по своей программе, обеспечивая температуру воды в буферной емкости + 50°C.

II – Электрический котел, интегрированный с ВТН, работает по программе погодозависимого управления и обеспечивает дополнительную мощность для теплового насоса при низких температурах на улице.

III – Термостат, датчик температуры в помещении обеспечивает расход горячей

воды из буферной емкости для поддержания заданной температуры в помещении через отопительный контур и горячую воду для бытовых нужд.

## ВЫВОДЫ

Рациональный подход к выбору тепловой мощности ВТН и мощности электротена при их совместной работе дает полезный энергосберегающий эффект на всем диапазоне отопительного периода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А. Автоматизация функционально-структурной схемы теплообеспечения текстильного малоэтажного строения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С.335...337.
2. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Алоян С.М., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Возможный диапазон работы воздушного теплового насоса в отопительный период // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 278...281.
3. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Ткачев В.М., Емелин В.А. Термодинамическая эффективность воздушных тепловых насосов, используемых в малоэтажных текстильных строениях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 314...318.
4. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Количественный анализ конфигурации коэффициента эффективности и тепловой мощности воздушного теплового насоса при отоплении малоэтажных текстильных строений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 319...323.
5. Алоян Р.М., Федосеев В.И., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Емелин В.А., Воронов В.А. Сравнительный анализ комбинированных режимов работы ВТН для малоэтажных строений в текстильной отрасли // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 324...328.
6. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Воронов В.А., Емелин В.А. Анализ энергоэффективности воздушного теплового насоса и электродкотла в условиях текстильного и швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С. 5...12.
7. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б. Экономическая эффективность воздушнотепловых насосов для объектов производственного и непроизводственного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. С.18...21.
8. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Воронов В.А., Емелин В.А. Анализ энергоэффективности воздушного теплового насоса

и электродкотла в условиях текстильного и швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С. 5...12.

9. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Виноградова И.В., Острякова Ю.Е. Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности фреонов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 179...184.

10. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Экологические и энергосберегающие технологии в текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С. 263...266.

11. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Функциональная система для теплообмена автономных текстильных производств воздушным тепловым насосом (ВТН) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 5. С. 195...198.

12. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А. Организационно-технические решения снижения энергоемкости российской экономики на примере текстильной и строительной отраслей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С.301...304.

13. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса // Сб. науч. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. – 2015. С. 241...251.

14. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Изв. вузов. Экономика, финансы и управление производством. – 2011, № 3. С. 92...95.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Voronov V.A. Avtomatizatsiya funktsional'no-strukturnoy skhemy teploobespecheniya tekstil'nogo maloetazhnogo stroeniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 2. S.335...337.
2. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Aloyan S.M., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V. Vozmozhnyy diapazon raboty vozdušnogo teplovogo nasosa v otopitel'nyy period // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 4. S. 278...281.
3. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Tkachev V.M., Emelin V.A. Termodinamicheskaya effektivnost' vozdushnykh teplovykh nasosov, ispol'zuemykh v maloetazhnykh tekstil'nykh stroeniyakh // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. С. 314...318.
4. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V. Kolichestvennyy analiz konfiguratsii koefitsienta effektivnosti i teplovoy moshchnosti vozdušnogo teplovogo nasosa pri otoplenii maloetazhnykh

tekstil'nykh stroeniy // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2017, № 5. S. 319...323.

5. Aloyan R.M., Fedoseev V.I., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V., Emelin V.A., Voronov V.A. Sravnitel'nyy analiz kombinirovannykh rezhimov raboty VTN dlya maloetazhnykh stroeniy v tekstil'noy otrasli // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2017, № 5. S. 324...328.

6. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Voronov V.A., Emelin V.A. Analiz energoeffektivnosti vozdušnogo teplovogo nasosa i elektrokotla v usloviyakh tekstil'nogo i shvey-nogo proizvodstva// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2016, № 4. S. 5...12.

7. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B. Ekonomicheskaya effektivnost' vozdušnотeplovykh nasosov dlya ob'ektov proizvodstvennogo i neproizvodstvennogo naznacheniya// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2016, №1. S. 18...21.

8. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Voronov V.A., Emelin V.A. Analiz energoeffektivnosti vozdušnogo teplovogo nasosa i elektrokotla v usloviyakh tekstil'nogo i shvey-nogo proizvodstva// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2016, № 4. S. 5...12.

9. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Vinogradova I.V., Ostryakova Yu.E. Effektivnost' otopeniya teplovym nasosom avtonomnykh tekstil'nykh proizvodstv v zavisimosti ot urovnya termodinamicheskoy aktivnosti freonov// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2017, № 1. S. 179...184.

10. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vinogradova N.V., Fedoseev V.N. Ekologicheskie i energosberegayushchie tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2016, №6. S. 263...266.

11. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vinogradova N.V., Fedoseev V.N. Funktsional'naya sistema dlya teploobmena avtonomnykh tekstil'nykh proizvodstv vozdušnym teplovym nasosom (VTN)// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2016, № 5. S. 195...198.

12. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N., Oparina L.A., Chistyakova Yu.A. Organizatsionno-tekhnicheskie resheniya snizheniya energoemkosti rossiyskoy ekonomiki na primere tekstil'noy i stroitel'noy otrasley// *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2017, № 4. S. 301...304.

13. Voronov V.A., Emelin V.A., Fedoseev V.N., Zaytseva I.A. Klimaticheskie usloviya i faktory, vliyayushchie na proizvoditel'nost' vozdušnogo teplovogo nasosa // *Sb. nauch. tr.: Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizatsionno-tekhnologicheskikh i ekonomicheskikh resheniy.* – 2015. S. 241...251.

14. Petrukhin A.B., Oparina L.A. Formirovanie integral'nogo pokazatelya energeticheskoy effektivnosti zdaniy// *Izv. vuzov. Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom.* – 2011, № 3. S. 92...95.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 19.02.19.