

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ С АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА

**А. С. Солдатенков, Е. А. Потапенко**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова  
г. Белгород

Использование децентрализации позволяет лучше адаптировать систему теплоснабжения к условиям потребления теплоты реальным объектом, а отсутствие внешних распределительных сетей практически исключает непроизводственные потери теплоты при транспортировке теплоносителя. Повышенный интерес к автономным источникам теплоты в значительной степени обусловлен финансовым состоянием и инвестиционно-кредитной политикой в стране, т.к. строительство централизованной системы теплоснабжения требует от инвестора значительных единовременных капитальных вложений в источник, тепловые сети и внутренние системы здания, причем с неопределенным сроком окупаемости. При децентрализации возможно достичь не только снижения капитальных вложений за счет отсутствия тепловых сетей, но и переложить расходы на стоимость жилья [1].

Одним из важнейших условий для проведения масштабной модернизации инженерной инфраструктуры ЖКХ в направлении повышения её энергоэффективности является наличие на рынке энергосбережения комплексных технологических решений, например, для инженерной инфраструктуры зданий и сооружений, обеспечивающих решение задач, как учёта потребления энергоресурсов, так и повышения энергоэффективности управления теплоснабжением зданий.

Среди производителей продукции на рынке энергосбережения можно отметить следующие. Компания Siemens является признанным мировым лидером в разработке систем для энергетики, в том числе, для систем тепло- и водоснабжения. Эта компания предлагает полный спектр оборудования и программного обеспечения (ПО) для автоматизации котельных, тепловых пунктов, насосных станций и др., а также комплексное решение для создания автоматизированной системы диспетчеризации тепло- и водоснабжением. Особенность подхода заключается в том, что они выполняют работы от проектирования до создания систем комму-

никации и диспетчеризации (<http://www.sbt.siemens.ru/products/>).

ОАО «Московский завод тепловой автоматики (МЗТА)» крупнейший отечественный разработчик современных средств автоматизации в области энергосберегающих технологий. Обеспечивает постоянное техническое сопровождение внедренных систем автоматического регулирования, их монтаж и наладку, обучает персонал работе с установленными системами. ОАО «МЗТА» является производителем ПТК КОНТАР – систем автоматизации и диспетчеризации распределенных объектов. Используется для мониторинга и управления инженерным оборудованием зданий, тепловых пунктов, котельных, насосных станций, объектов ЖКХ и др. (<http://mzta.ru/>).

Компания Danfoss предлагает полный спектр оборудования для учета и регулирования энергопотребления, холодильное оборудование и системы автоматизации, преобразователи частоты и др. Во многих направлениях эта компания является признанным мировым лидером. Концепция комплексного внедрения энергосберегающих технологий в зданиях и сооружениях с успехом реализуется в рамках различных программ, направленных на энергосбережение не только в России, но и по всему миру (<http://www.danfoss-rus.ru/>).

В качестве ближайших аналогов следует отметить, во-первых, техническое решение [2, с. 105] в виде автономной котельной установки для зданий с 2-мя системами отопления (СО) и системой горячего водоснабжения (ГВС) (или возможно подключение бойлера для ГВС), снабженных автоматическими регуляторами на базе контроллеров, во-вторых, техническое решение [3, схема II.2.4] в виде автономной многокотловой установки для зданий с 3-мя системами отопления и ГВС, снабженных регуляторами прямого действия по температуре. Недостатки существующих технических решений [2, 3] на базе применения автономных котельных для комплекса зданий возникают при подключении  $n$

– индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), например, с системами отопления и ГВС, когда в обязательном порядке ИТП зданий должны снабжаться автоматизированными системами на элементной базе, включающей контроллеры, исполнительные механизмы, регулирующие клапаны, датчики температуры [2] или же регуляторы прямого действия по температуре с датчиками и трёхходовые клапаны [3], а также дополнительные насосы для создания циркуляции в системах отопления и ГВС. Следовательно, при применении автономных котельных для комплекса зданий с  $n$  – индивидуальными тепловыми пунктами, например, с системами отопления и горячего водоснабжения необходимо проводить дополнительные затратные мероприятия для каждого здания с ИТП.

В этой связи актуальным является разработка автоматизированной системы управления теплоснабжением комплекса зданий с автономными источниками тепла (АИТ) на базе комбинированного подключения систем отопления и ГВС, основанного на подключениях части этих систем, причём с относительно малой тепловой нагрузкой, к части систем отопления и ГВС с относительно большой тепловой нагрузкой, подключённых к АИТ с учётом их автоматизации и возможностью интегрирования в автоматизированную систему диспетчерского управления (АСДУ).

Разработка в виде блок-схемы на базе автономных источников тепла для зданий с  $n$  – ИТП представлена на рисунке 1.

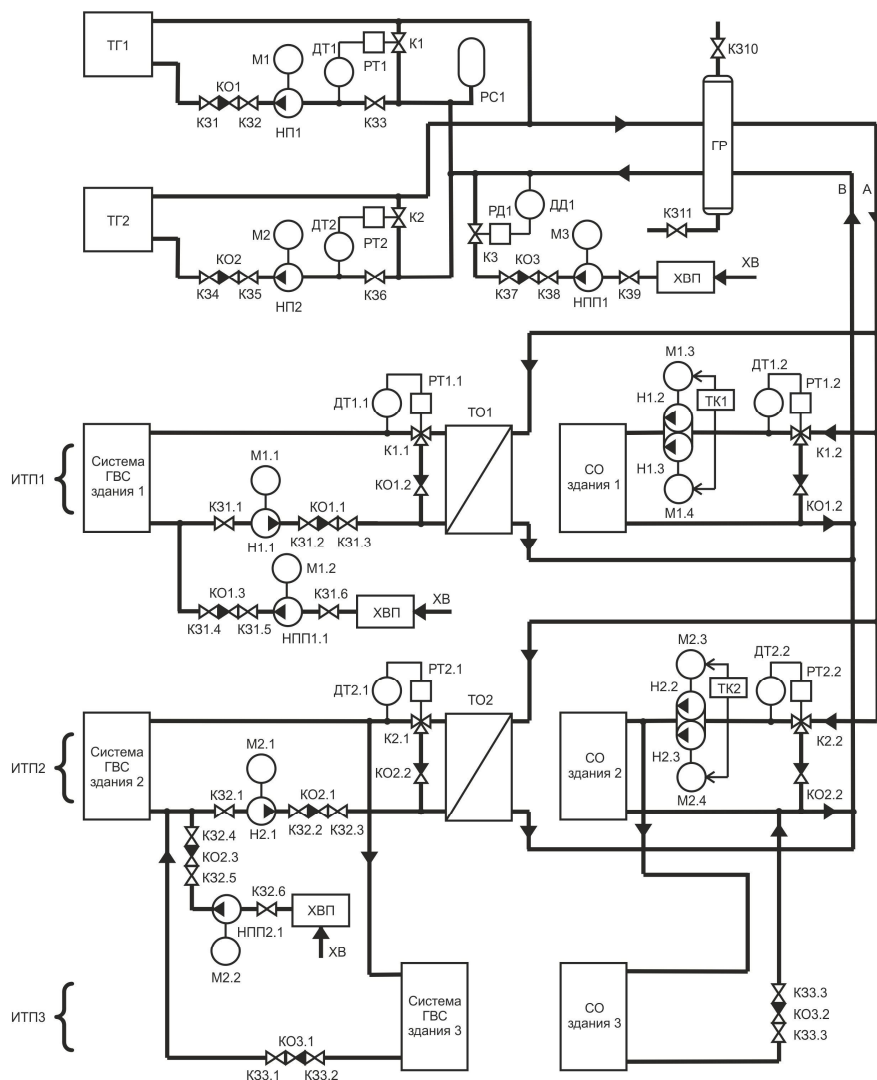


Рисунок 1 – Блок-схема автономных источников тепла для зданий с несколькими ИТП

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ С АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА

АИТ содержит: теплогенераторы (ТГ<sub>i</sub>), питательные насосы (НП<sub>i</sub>), электроприводы (М<sub>i</sub>), регуляторы температуры прямого действия (РТ<sub>i</sub>) с клапанами (К1, К2) и датчики температуры (ДТ<sub>i</sub>), расширительный бак (РС1), подпиточный трубопровод ТГ с регулятором давления прямого действия (РД1) с регулирующим клапаном (К3) и датчиком давления (ДД1), подпиточным насосом (НПП1) с электроприводом (М3) и с системой химической водоподготовки (ХВП), а также клапаны обратные (КО<sub>i</sub>) и шаровые краны (КЗ<sub>i</sub>).

Автоматизированная система управления теплоснабжением комплекса зданий содержит следующие элементы в инженерных системах:

1) Системы ГВС зданий на базе теплообменников (ТО<sub>i</sub>), включающие регуляторы температуры прямого действия (РТ<sub>i.1</sub>) с трехходовыми клапанами (К<sub>i.1</sub>) и датчиками температуры (ДТ<sub>i.1</sub>), циркуляционные насосы ГВС (Н<sub>i.1</sub>) с электроприводами (М<sub>i.1</sub>), подпиточные трубопроводы с насосами ГВС (НПП<sub>i.1</sub>) с электроприводами (М<sub>i.2</sub>) и системой ХВП, а также клапаны обратные (КО<sub>i.j</sub>) и шаровые краны (КЗ<sub>i.j</sub>).

2) Системы отопления зданий, подключенные к АИТ по зависимой схеме и включающие регуляторы температуры прямого действия (РТ<sub>i.2</sub>) с трехходовыми клапанами (К<sub>i.2</sub>) и датчиками температуры (ДТ<sub>i.2</sub>), моноблоки циркуляционных насосов (Н<sub>i.j</sub>) с электроприводами (М<sub>i.j</sub>) и контроллерами (ТК<sub>i</sub>) для поочередного включения основных и резервных насосов, а также клапаны обратные (КО<sub>i.j</sub>) и шаровые краны (КЗ<sub>i.j</sub>).

Индивидуальные тепловые пункты с системами отопления и ГВС (ИТП1, ИТП2) имеют относительно большую тепловую нагрузку, а ИТП3 – относительно малую.

Новизна предлагаемого технического решения при создании систем автоматизации  $n$  – индивидуальных тепловых пунктов зданий с системами отопления и ГВС, подключенных к АИТ, заключается:

1) в полной автоматизации части систем отопления и ГВС с наибольшей тепловой нагрузкой, а именно,  $(n - k)$  – ИТП зданий;

2) в подключении  $k$ -ых ИТП с системами СО и ГВС с существенно меньшей тепловой нагрузкой  $k$   $(n - k)$  – ИТП зданий после регуляторов температуры в системах СО и ГВС соответственно.

Такое техническое решение в виде системы управления теплоснабжением комплекса зданий направлено на минимизацию затрат при создании систем автоматизации  $n$

– индивидуальных тепловых пунктов зданий с системами отопления и ГВС, а также на уменьшение эксплуатационных расходов на системы автоматизации ИТП за счет уменьшения количества применяемых элементов автоматизации и на повышение эффективности функционирования систем автоматизации  $n$  – ИТП зданий в целом.

Следует отметить, что при проектировании, например, ИТП2 обязательно учитываются дополнительные тепловые нагрузки ИТП3. Для упрощения представления разработки (см. рис. 1) в этой работе системы автоматического регулирования СО и ГВС ИТП зданий представлены на базе регуляторов прямого действия. В реальных системах они выполнены на базе контроллеров, исполнительных механизмов, регулирующих клапанов и датчиков температуры [4], с учетом особенностей проектирования автономных котельных и современных систем отопления и ГВС [2]. Интеграция разрабатываемых систем управления теплоснабжением комплекса зданий с АИТ в автоматизированную систему диспетчерского управления позволит повысить их эффективность как в [5].

Пример 1. Считаем, что цена автоматизированной системы управления теплоснабжением комплекса зданий определяется количеством ИТП с учетом  $n = 5$ . Каждый из 3 ИТП имеет максимальную тепловую нагрузку от 0,622 до 0,910 Гкал/час, а другие ИТП (при  $k = 2$ ) соответственно от 0,093 до 0,132 Гкал/час. Цена аналогичных систем конкурирующих компаний для 5-ти ИТП на базе применения оборудования, приборов и технологии компании Danfoss, включая стоимость монтажных работ, находится в пределах 1 млн. руб., а предлагаемой инновационной разработки (см. рис. 1) – порядка 700 тыс. руб. Дополнительная цена разработки и интеграции этих систем в АСДУ конкурирующих компаний с использованием лицензионного ПО на базе SCADA технологий составит порядка 380 тыс. руб., а аналогичная АСДУ на базе разработанного ПО – порядка 270 тыс. руб. В итоге предлагаемая инновационная разработка обходится примерно на 29% дешевле предложений конкурирующих компаний.

Исследуем особенности процессов в ИТП 3-х зданий с учетом инженерных систем и их системами управления теплоснабжением с возможностью изменения расхода теплоносителя в СО каждого ИТП здания на основе экспериментальных исследований и

имитационного моделирования в среде Simulink с учётом схемы, представленной на рисунке 2.

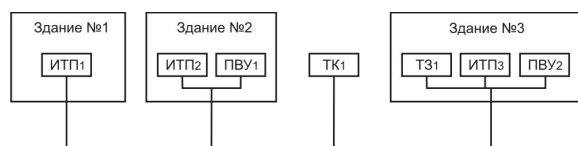


Рисунок 2 – Схема ИТП 3-х зданий с инженерными системами

В этой схеме через камеру (ТК1) осуществляется связь АИТ с 3-мя ИТП зданий, содержащих 6 объектов управления: здание 1 – систему отопления (ИТП1), здание 2 – СО (ИТП2) и приточно-вентиляционную установку (ПВУ1), здание 3 – СО (ИТП3), ПВУ2 и тепловую завесу (ТЗ1). В ИТП зданий применяется схема зависимого присоединения систем отопления, ПВУ и ТЗ1.

При разработке структурной схемы имитационного моделирования особенностей управления теплоснабжением этих объектов (см. рис. 2) их гидравлические сопротивления определялись на основе экспериментальных исследований для каждого объекта, а гидравлические сопротивления трубопроводов до этих объектов вычислялись классическим методом с учетом их диаметров, длин, изгибов и т.д. Расход теплоносителя измерялся с помощью расходомера типа Portaflow с учетом ультразвуковых датчиков, относительная погрешность ( $\delta$ )  $\pm 3$  %. Давление определялось прибором Метран-100ДА,  $\delta = \pm 0,2$  %.

При моделировании СО здания применялась следующая система уравнений:

$$\begin{cases} T_1 G_1(t) + T_o(t) \cdot (G_{co} - G_1(t)) = G_{co} T_{co}(t), \\ G_{ок}(t) + G_1(t) = G_{co}, \\ \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_o}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_o}{dt} + T_o(t) = k T_{co}(t). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $T_1$ ,  $T_2$  и  $k$  – соответственно постоянные времени и коэффициент передачи СО, которые определяются при параметрической идентификации СО здания;  $G_1(t)$  и  $T_1(t)$  – соответственно расход теплоносителя и его температура на входе ИТП,  $G_{ок}(t)$ ,  $G_{co}(t)$  – расходы на перемычке при зависимой схеме подключения и в подающем трубопроводе СО. Первое уравнение системы (1) учитывает смешивание теплоносителей, 2 – уравнение неразрывности потоков, 3 – уравнение, описывающее процессы в СО, причем  $T_o(t)$  и  $T_{co}(t)$  соответственно температуры теплоносителя в обратном и подающем трубопроводах СО.

Результаты исследования распределения расходов теплоносителя в подающих трубопроводах этих объектов при функционировании их в рабочих режимах (РР) (см. рисунок 2) и с учетом условий, при которых расходы теплоносителя в заданных объектах последовательно принимались равными нулю, представлены в таблице.

Анализ результатов показывает (см. табл.), что относительные соотношения расходов в подающих трубопроводах объектов в рабочих режимах, следующие:  $G_{11} - 15,0$  %;  $G_{21} - 30,0$  %;  $G_{22} - 5,4$  %;  $G_{31} - 35,1$  %;  $G_{32} - 12,0$  %;  $G_{33} - 2,5$  %. Учитывая, что максимальный расход в системе теплоснабжения 3-х зданий наблюдается в ИТП3, поэтому рассмотрим этот вариант с учетом  $G_{31} = 0$ . Перераспределения соотношений расходов теплоносителя между остальными объектами, находящимися в РР следующие:  $G_{11} - 23,1$  % (↑ на 8,1 %);  $G_{21} - 46,0$  % (↑ на 16,0 %);  $G_{22} - 8,0$  % (↑ на 2,6 %);  $G_{32} - 19,0$  % (↑ на 7,0 %);  $G_{33} - 3,9$  % (↑ на 1,4 %). Следовательно, перераспределение соотношений расходов теплоносителя между распределенными объектами определяется их гидравлическими сопротивлениями, которые в свою очередь зависят от положений штоков регулирующих клапанов систем автоматизации.

Таблица 1 – Расходы теплоносителей в зданиях с инженерными системами

| Режим работы исследуемых объектов            | Расход теплоносителя по объектам, м <sup>3</sup> /ч |                  |                   |                  |                   |                  |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|                                              | здание 1                                            |                  | здание 2          |                  | здание 3          |                  |
|                                              | ТП1,<br>$G_{11}$                                    | ТП2,<br>$G_{21}$ | ПВУ1,<br>$G_{22}$ | ТП3,<br>$G_{31}$ | ПВУ2,<br>$G_{32}$ | ТЗ1,<br>$G_{33}$ |
| Все объекты в рабочих режимах                | 7,0                                                 | 14,0             | 2,50              | 16,40            | 5,60              | 1,20             |
| $G_{11} = 0$ , в остальных РР                | 0                                                   | 16,80            | 2,90              | 18,76            | 6,80              | 1,40             |
| $G_{21} = 0$ , в остальных РР                | 10,50                                               | 0                | 3,70              | 22,37            | 8,30              | 1,70             |
| $G_{31} = 0$ , в остальных РР                | 10,80                                               | 21,40            | 3,70              | 0                | 8,80              | 1,85             |
| $G_{11} = 0$ и $G_{21} = 0$ , в остальных РР | 0                                                   | 0                | 4,87              | 28,67            | 10,90             | 2,21             |

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ С АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА

В связи с этим, если в схеме на рисунке 1 подключить, например, систему отопления ИТПЗ с помощью элеваторного узла к трубопроводам ГР с учётом того, что тепловая нагрузка существенно меньше (см. пример 1), тогда будет наблюдаться следующее. На основе данных примера 1 считаем, что имеется пять ИТП, но только с системами отопления, причём из них три автоматизированные ИТП, а в двух ИТП находятся водоступные элеваторные узлы. Тогда, например, при программном снижении температуры (в вечернее и ночное время) в 3-х автоматизированных ИТП соответственно скачкообразно уменьшится на вводах ИТП зданий расход потребляемого теплоносителя, а это приведет к перераспределению соотношений расходов теплоносителя между двумя элеваторными СО. В этом случае ожидаемого снижения потребляемой тепловой энергии в целом не произойдет.

В этой разработке заложено использование в ключевых компонентах современных технологий автоматизации для формирования запаса прочности на будущее и максимальное использование типовых элементов и стандартного программного обеспечения. Рынки сбыта разработки – всероссийский, региональный и некоторых стран бывшего СССР. Область применения – здания и сооружения в жилой и бюджетной сфере и в промышленности. Коммерциализация связана с возможностью продажи инновационных разработок по результатам НИОКР, лицензий и развитие малого предприятия на основе внедрения разработок. План коммерциализа-

ции инновационной разработки: 1) продвижение в сегменте новостроек; 2) использование пилотных проектов как средств продвижения в регионы; 3) приоритет крупнейшим городам; 4) приоритет регионам с наибольшим потенциалом для экономии энергии. Коммерциализация полученных результатов востребована предприятиями малого и среднего бизнеса в Белгородской области (имеются документы).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаванов, П.А. Автономная система теплоснабжения – альтернатива или шаг назад?/ П.А. Хаванов// Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК), 2004. №1. - С. 34 – 37.
2. Мировски, А. Материалы для проектирования котельных и современных систем отопления/ А. Мировски, Г. Ланге, И. Елень. – Польша: Виссманн, 2005 г. – 293 с.
3. Хаванов, П.А. II.2. Принципиальные тепловые схемы автономных источников теплоснабжения с коллекторами малых перепадов давления/ П.А. Хаванов// АВОК, 2002. №3. – С. 26-35.
4. Солдатенков, А.С. Исследование процессов перераспределения энергоносителя при частичной автоматизации распределенного комплекса зданий/ А.С. Солдатенков, А.Н. Потапенко// Международный научно-технический журнал «Світлотехника та електроенергетика». - №2 (18), 2009. – С. 4-8.
5. Потапенко, А.Н. Особенности управления распределенным комплексом зданий с возможностью энергосбережения/ А.Н. Потапенко, А.С. Солдатенков, А.О. Яковлев// Международный научно-технический журнал «Світлотехника та електроенергетика». – №1 (17), 2009. – С. 36-41.