

## Автономные котельные

### Оптимизация тепловых и гидравлических режимов работы универсального ряда автономных котельных для ЖКХ

**П. А. Хаванов**, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедры ТКУ МГСУ, ведущий специалист компании «Селект»;

**К. П. Барынин**, гл. инженер компании «Селект»

**Автономные котельные для теплоснабжения конкретных объектов ЖКХ на современном этапе могут рассматриваться как наиболее рациональное инженерное решение, обеспечивающее на самом низком уровне централизации все преимущества централизованного теплоснабжения и в то же время лишенное недостатков, присущих поквартирным системам.**

Отсутствие протяженных внешних тепловых сетей и обслуживание преимущественно однотипных потребителей (конкретного потребителя) позволяет практически исключить потери теплоносителя в тепловых сетях и потери теплоты от совмещения графиков отпуска теплоты разнотипными потребителями, используя все преимущества местного регулирования.

По сравнению с поквартирным теплоснабжением, при использовании автономной котельной в жилых помещениях нет необходимости монтировать теплогенератор, прокладывать газоходы систем дымо-удаления (отчуждать строительные площади) и воздухопроводы для подачи воздуха на горение, появляется возможность исключить эксплуатационные издержки, связанные с обслуживанием поквартирного теплогенератора неквалифицированным персоналом (жильцами).

Высокая эффективность использования тепловой энергии в системах теплоснабжения на базе автономных источников теплоты (АИТ) на газообразном и жидком топливе (твердое топливо в рамках настоящей публикации не рассматривается) может быть достигнута не только за счет применения высокоэффективных котлов (включая конденсационные), но и за счет применения рациональной тепловой схемы АИТ, обеспечивающей надлежащие теплогидравлические режимы работы основного и вспомогательного оборудования при всех нагрузках, а не только в режимах максимального и минимального теплопотребления.

Последнее положение исключительно важно как с позиций экономии тепловой энергии в случаях технологически обусловленного неправильного регулирования отпуска теплоты – «перетопов», так и с позиций обеспечения защиты оборудования котельной от нерациональных режимов эксплуатации, приводящих к интенсификации низкотемпературной коррозии, недопустимому снижению расхода теплоносителя в котлах, неоправданному перерасходу электроэнергии, потерям теплоносителя, отложениям накипи и другим факторам, существенно снижающим эксплуатационные показатели, надежность и долговечность работы оборудования АИТ и местных систем теплопотребления.

На объектах реконструкции и нового строительства в ЖКХ России наибольший «удельный вес» имеют автономные газовые котельные мощностью 0,5–2,5 МВт. В большинстве случаев – пристроенные или встроенные, реже крышные, выполненные как в виде транспортабельных агрегато-блочных компонентов, так и в стационарных зданиях и помещениях.

Наиболее простые технические решения при разработке АИТ имеют место для технологических нагрузок, в большинстве случаев отличающихся постоянством теплопотребления и стабильностью параметров теплоносителя (как сезонной, так и суточной).

Иначе обстоит дело при обеспечении теплом смешанных потребителей технологических и жилищно-коммунальных, или только потребителей ЖКХ, для которых характерны сезонные и суточные изменения нагрузок отопления и вентиляции, значительные часовые колебания теплопотреблений на цели ГВС (с коэффициентом неравномерности для малых нагрузок, достигающих до 4–5), а также большого количества специфических потребителей: системы подогрева воды в бассейнах, отопление и вентиляции гаражей, зимних садов, «теплые полы» и др.

Отсутствие протяженных внешних тепловых сетей в АИТ рассматриваемого мощностного ряда и практически полное внутреннее размещение трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и оборудования исключает утечку больших объемов теплоносителя и ухудшение его качества, что позволяет в подавляющем большинстве случаев использовать зависимое подключение отопительно-вентиляционной нагрузки. В противном случае используются независимые схемы через разделяющие теплообменники.

Необходимость независимого подключения нагрузки может быть обусловлена большими значениями гидростатического давления для оборудования АИТ при его монтаже, например, на нижних отметках в зонах многоэтажной застройки.

В общем случае использование независимых схем гидравлически полностью разделяет внешних потребителей от тепловой схемы АИТ и позволяет технически обеспечить стабильные гидравлические условия работы котлов во всех режимах теплопотребления, что может быть весьма важным, учитывая

все более широкое внедрение методов количественного регулирования отпуска теплоты у местных потребителей систем отопления и вентиляции.

На цели горячего водоснабжения отпуск теплоты от автономного источника по ряду очевидных причин возможен практически только по независимой схеме с установкой не менее двух проточных водонагревателей на максимум потребления ГВС со 100-процентным резервированием мощности теплообменников.

Следует отметить, что использование независимых схем тепло-снабжения существенно увеличивает стоимость источника теплоты. Таким образом, при разработке унифицированного ряда принципиальных тепловых схем АИТ для коммунально-бытовых потребителей мощностью 0,5–2,5 МВт как базовая принимается тепловая схема с зависимым подключением нагрузок отопления и вентиляции и независимым подключением нагрузки горячего водоснабжения.

Важнейшим моментом при обосновании выбора тепловой схемы АИТ для обеспечения гидравлической стабильности в контуре котлов являются принятые условия управления на базе качественного или количественного регулирования отпуска теплоты.

При качественном («погодозависимом») регулировании управление теплоносителя по температурному графику при постоянном расходе теплоносителя. Однако, при наличии нагрузки ГВС для обеспечения параметров горячей воды  $G_{га} = 60$  °С в теплообменниках ГВС требуется греющий теплоноситель с температурой не ниже  $t_r = 65$  °С. Этим обусловлено наличие «излома» (срезки) температурного графика (на значении  $t_r = 65$  °С) при температурах наружного воздуха выше температуры «точки излома», поэтому в этих режимах происходит «перетоп» в отапливаемых помещениях, с которым приходится бороться используя «пропуски» (перерывы в работе систем отопления) или существенным снижением расхода теплоносителя местными регуляторами, например термостатическими клапанами на радиаторах, что следует отнести к количественному регулированию.

Таблица 1.  
Примерная структура нагрузок в зданиях с различным числом квартир

Отопление и вентиляция, %	45	50	60
Горячее водоснабжение (максимальное), %	50	47	38
Прочее, %	5	3	2

При количественном (термостатическом) регулировании температура теплоносителя, подаваемого к потребителю (на выходе из теплогенератора), остается постоянной (в «чистом виде» при количественном регулировании) и обратная вода также имеет постоянную температуру, а расход теплоносителя изменяется пропорционально нагрузке.

Таким образом, количественное регулирование приводит к переменным расходам теплоносителя через котлы, что должно рассматриваться как недопустимый режим их эксплуатации.

Перечисленные причины не позволяют рекомендовать к использованию в «чистом виде» ни «погодозависимое», ни термостатическое регулирование отпуска теплоты.

Наиболее стабильные гидравлические условия работы котлов при обеспечении требуемых тепловых режимов в местных системах может обеспечить термостатическое регулирование температуры теплоносителя только в подающей магистрали котлов (например,  $t_n = 90$  °С в отопительный период и  $t_n = 70$  °С – в «летний» период) при переменных температурах в обратной магистрали котлов (соответствующей текущему значению нагрузок) и сохранении постоянного расхода теплоносителя через котлы.

В то же время теплогидравлические режимы в отдельных местных системах ОВ и ГВС обеспечиваются за счет работы местных смесительно-регулирующих узлов.

Таким образом, можно сформулировать совокупность основных требований к оборудованию АИТ, которые могут рассматриваться как базовые при разработке универсальной, принципиальной тепловой схемы:

1. Тепловая схема должна разрабатываться для структуры нагрузок основной массы коммунально-бытовых потребителей, характерной для умеренной климатической зоны России.
2. Структура нагрузок на цели отопления, вентиляции, ГВС и возможная технологическая нагрузка по горячей воде должны соответствовать группе потребителей суммарной мощностью 0,5–2,5 МВт.
3. АИТ, крышная, пристроенная или стоящая отдельно, имеют малопротяженные тепловые сети (или не имеет тепловых сетей), гидравлический режим, в которых обеспечивается циркуляционными насосами, предусмотренными в тепловой схеме котельной.
4. Гидравлический режим работы котлов должен обеспечивать номинальный («паспортный») расход теплоносителя через котлы во всех режимах теплоснабжения и не должен зависеть от гидравлических и тепловых режимов работы потребителей.
5. Регулирование отпуска теплоты должно осуществляться для всех систем теплоснабжения системами регулирования АИТ.
6. Расчет режимов работы типовых тепловых схем АИТ для принятого мощностного ряда и структуры нагрузок должен осуществляться по пяти основным расчетным режимам:
  - максимально-зимний;

- средний за холодный месяц;
- средний за отопительный период;
- конец отопительного периода;
- летний.

7. Тепловой режим работы котлов (не конденсационного типа) при всех условиях эксплуатации (нагрузках) должен обеспечиваться оборудованием тепловой схемы таким образом, чтобы минимальная температура воды на входе в котел исключала конденсацию водяных паров из продуктов сгорания (низкотемпературная коррозия) и негативное воздействие «холодной обратки» на конструкцию котла (например, для природного газа не ниже 55 °С).

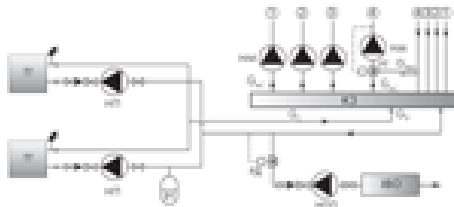
8. Монтажная схема должна предполагать компактное размещение оборудования с использованием для монтажа всех ограждающих конструкций, в том числе и для блочных АИТ (транспортабельных) полной заводской готовности.

9. Монтажная схема должна учитывать возможность монтажа газоходов от котлов для верхнего или заднего отвода дымовых газов как на индивидуальные, так и на групповые дымовые трубы, включая отдельно стоящие.

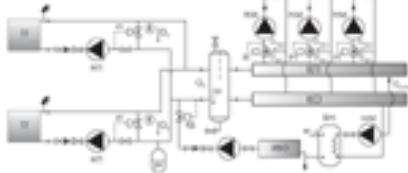
10. Водоподготовка организуется для минимальных расходов подпиточной воды, не более 0,25 % от объема воды в системе.

11. Тепловая схема АИТ должна иметь по возможности простую структуру, не содержать дорогостоящего оборудования по гидравлической балансировке элементов схемы, быть гидравлически устойчивой при переходных режимах (частичных нагрузках), обеспечивать все режимы работы системы теплоснабжения и источника тепла с использованием наиболее простых и доступных средств автоматизации управления и безопасности эксплуатации АИТ.

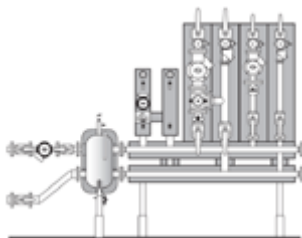
12. Разрабатываемая типовая тепловая схема АИТ должна оставлять возможность малыми техническими средствами трансформировать ее в схемы с независимым подключением нагрузок.



Достаточно подробный анализ тепловых схем АИТ для смешанного типа нагрузок в системе теплоснабжения (см. журнал «АВОК», 2002, № 1, 2, 3), в которых достигаются наиболее рациональные гидравлические режимы работы как котельных агрегатов, так и внешних потребителей, позволяет остановиться на тепловой схеме с короткозамкнутым коллектором, рис. 1, и тепловой схеме с гидравлическим регулятором, рис. 2.



В последней схеме роль замыкающего участка, разобщающего контур котлов и контур внешнего потребления между подающим и обратным коллектором, выполняет гидравлический регулятор, часто гидравлический регулятор монтируется непосредственно на фланцах коллекторов (например, рис. 3), что может быть рационально для АИТ при комнатном расположении оборудования.



В гидравлическом регуляторе, в отличие от простого замыкающего участка, возможно осуществить ряд функций дополнительных устройств:

- струйного деаэратора;
- воздухоотделителя-воздухо-сборника-воздухоотводчика;
- грязевика.

Однако, учитывая, что перечисленные дополнительные функции в системах малой мощности не являются определяющими и их можно реализовать в отдельных устройствах, стоимость гидравлического регулятора (импортного производства) может превосходить стоимость котла, а также значительные габариты этого оборудования, более рациональным компоновочным решением будет использование короткозамкнутых коллекторов (тепловая схема рис. 1).

Это решение, обеспечивая все преимущества схемы рис. 2 по стабилизации и независимости гидравлических режимов внешних потребителей и узла котельных агрегатов, позволяет снизить массу оборудования, удешевить и упростить компоновку, сделать распределительный узел более компактным и универсальным.

Основным режимным параметром, обеспечивающим стабильный гидравлический режим короткозамкнутого коллектора (и гидравлического регулятора) как участка с малым перепадом давления, является скорость движения теплоносителя в нем, которая должна быть при максимальных расходах теплоносителя не более 0,6 м/с (в режиме максимальных нагрузок).

Таблица 2.  
Результаты расчетов геометрических размеров короткозамкнутых коллекторов и гидравлических регуляторов

	$\Delta t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$			$\Delta t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			$\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$						
	G, кг/с	D, мм	d, мм	G, кг/с	D, мм	d, мм	G, кг/с	D, мм	d, мм	Meibes		Magra	
										D, мм	d, мм	D, мм	d, мм
0,5	7,95	145	80	4,8	110	50	5,97	120	70	300	100	200	100
0,85	13,52	195	110	8	140	80	10,14	170	95	300	125	250	125
1,45	23,0	260	140	13,8	200	120	17,2	220	130	420	150	300	150
2,5	39,1	325	185	23,9	260	145	29,3	290	165	420	200	350	200

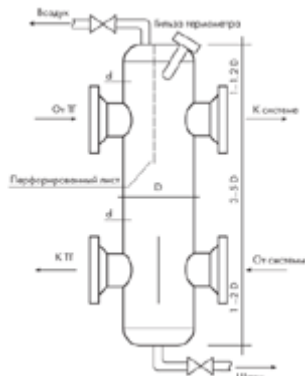
Разрабатывая типоряд АИТ в диапазоне мощностей 0,5–2,5 МВт с учетом примерной структуры нагрузок для средней климатической зоны России (табл. 1) и опыта проектирования и на основании расчетов тепло-гидравлических режимов тепловых схем АИТ можно рекомендовать параметрический ряд из трех групп:

- 1 группа – с рабочим диапазоном номинальной мощности 0,5–0,85 МВт;
- 2 группа – с рабочим диапазоном номинальной мощности 0,86–1,46 МВт;
- 3 группа – с рабочим диапазоном номинальной мощности 1,47–2,5 МВт.

Обоснованием такого выбора может служить соотношение внутри группы максимальной расчетной мощности к минимальной расчетной, принятое  $m = 1,7$ , что позволяет оборудование, трубопроводы, запорную и регулируемую арматуру тепловой схемы (в том числе и короткозамкнутые коллекторы и гидравлический регулятор) устанавливать (подбирать) по величине максимальной расчетной мощности внутри группы в параметрическом ряду, с фактическим превышением определяющего размера (диаметра) по отношению к минимальной расчетной мощности внутри группы в параметрическом ряду в  $\sqrt{m}$  раз, т. е. в 1,3 раза.

Таким образом, если при максимальной расчетной мощности АИТ внутри группы типоряда будет обеспечена требуемая скорость движения теплоносителя, например, в короткозамкнутом коллекторе  $\omega^{\max}_k \leq 0,6$  м/с, а в трубопроводах  $\omega^{\max}_T \leq 1,75$  м/с, то скорости при минимальной расчетной мощности АИТ внутри группы принятого параметрического ряда, соответственно, составят:  $\omega^{\min}_k = 0,46$  м/с,  $\omega^{\min}_T = 1,35$  м/с, то же справедливо и для других элементов тепловой схемы АИТ.

При обосновании гидравлических режимов тепловых схем АИТ с использованием участков с малым перепадом давления (короткозамкнутыми коллекторами или гидравлическими регуляторами) необходимо для всех режимов работы в рассматриваемых узлах рассчитать рециркуляционные потоки теплоносителя котлового контура для обеспечения защиты котла от низкой температуры обратной воды.



Наиболее простым способом для этого является расчет расхода теплоносителя по мощности АИТ (во всех режимах работы) для перепада температур теплоносителя в котловом контуре  $\Phi t_k$ , меньшем, чем во внешнем  $\Phi t_b$ .

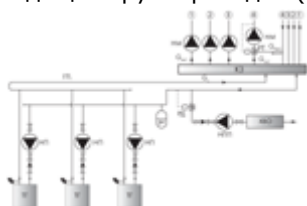
Например, во внешнем контуре используется температурный график качественного регулирования 95/70 °С с  $\Delta t^p_b = 25$  °С, а в котловом контуре – термостатическое регулирование по температуре подаваемой воды 95/75 °С с  $\Delta t^p_k = 20$  °С, в этом случае расход воды через котел  $G_{Тк}$  будет всегда больше, чем во внешних потребителях  $G_{Тс}$ , и часть воды по замыкающему участку (рис. 1, 2) будет рециркулировать  $G_p$  в обратную линию котлового контура  $G_p = G_{Тк} - G_{Тс}$ , повышая температуру обратной воды.

При такой организации движения потоков и соответствующем обосновании расчетов тепловой схемы для пяти режимов можно отказаться от применения узлов рециркуляции поз. 4, рис. 2.

В АИТ оборудование размещается компактно и контур котлов имеет весьма малое гидравлическое сопротивление, поэтому желательно для выравнивания гидравлических потерь в контурах котлов организовать «гидравлическую петлю», рис. 5.

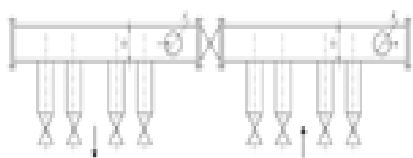
Рассматривая структуру потребителей теплоты ЖКХ в принятом диапазоне нагрузок АИТ 0,5–2,5 МВт, можно констатировать, что основным фактором, влияющим на соотношение нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, будет число квартир в характерном здании, т. е. число потребителей (табл. 1).

Если руководствоваться тезисом о том, что с ростом числа квартир в характерном здании растет и мощность АИТ (в том числе и крышных), то на основании расчетов, выполненных для различных условий эксплуатации АИТ, для принятых групп мощности можно рекомендовать следующие диаметры (D) короткозамкнутых коллекторов, рис. 6, гидравлических регуляторов, рис. 4, и диаметры подводящих трубопроводов (d).



Диаметры распределительных трубопроводов и их число определяются в зависимости от числа и мощности отдельных потребителей, характерных для данной мощности АИТ (табл. 1).

Для ориентировочных предварительных оценок диаметров указанных трубопроводов в случае разработки нового АИТ принятого ряда мощностей при различных графиках регулирования мощности (и для котлов, и для тепловых сетей) можно допустить, что здания 2–8-квартирные получают теплоту от АИТ мощностью 0,5–0,85 МВт, 24–48-квартирные – от АИТ мощностью 0,86–1,46 МВт, 100–200-квартирные – 1,47–2,5 МВт.



Тогда можно рассчитать диаметры D короткозамкнутых коллекторов (например, конструкция для верхнего, потолочного размещения коллекторов, рис. 6) или гидравлических регуляторов, рис. 4, и подводящих трубопроводов d от контуров котлов и внешних потребителей.

Результаты расчетов приведены в табл. 2 для перепадов температур теплоносителей  $\Delta t = 15$  °С,  $\Delta t = 20$  °С и  $\Delta t = 25$  °С. Для сравнения приведены данные по соответствующим диаметрам для гидравлических регуляторов, производимых компаниями «Meibes» и «Magra».

Приведенные в статье материалы должны рассматриваться как рекомендации общего характера по разработке типовых тепловых схем АИТ анализируемого диапазона мощности.