

Теплоснабжение зданий от крышных котельных при утилизации попутного нефтяного газа

Массовое проектирование крышных котельных в Российской Федерации началось в конце 1990-х годов, когда решения, направленные на децентрализацию теплоснабжения объектов строительства, считались наиболее перспективными с точки зрения надёжности и экономической энергообеспеченности.

В связи с этим возникла необходимость в разработке нормативно-правовых рекомендаций, регламентирующих проектирование и последующую безопасную эксплуатацию устанавливаемого теплогенерирующего оборудования. Первым основополагающим документом в этом направлении стала временная инструкция, разработанная в 1996 году при непосредственном участии А.С. Хотченкова и Л.С. Иоффе [1]. После достаточно обширного апробирования в 2000 году взамен действующим нормам были приняты изменения к СНиП II-35-76 «Котельные установки» [2].

Тенденция активного проектирования крышных котельных, то есть располагаемых непосредственно на бесчердачном покрытии здания или на дополнительно возведённом на нём основании, особенно в отсутствие других энергоисточников, продолжает сохраняться в большинстве регионов РФ по причине экономического и надёжного теплоснабжения сооружений. Установка теплообменного оборудования, его обвязка и прокладка трубопровода на крыше в совокупности представляют собой достаточно трудоёмкий процесс. Однако достигаемый впоследствии ряд преимуществ часто способствует предпочтению в размещении котлов на перекрытиях максимальной отметки для различных предприятий, общественно-административных и жилых зданий. К положительным факторам, способствующим данному выбору, можно отнести следующие преимущества [1–4]:

Тенденция активного проектирования крышных котельных, располагаемых непосредственно на бесчердачном покрытии здания или на дополнительно возведённом на нём основании, продолжает сохраняться в большинстве регионов РФ

- не требуется землеотвод и возведение отдельно стоящего здания;
- не проводится монтаж дымовых труб большой высоты;
- достигается экологическая безопасность, обусловленная хорошим рассеиванием дымовых газов;
- осуществляется беспроблемная подача воздуха к горелкам;
- повышается безопасность в результате минимальной вероятности аварий, обусловленных возможными дымовыми выбросами или утечкой природного газа;
- достигается снижение тепловых потерь и энергозатрат посредством быстрого отклика на автоматическое регулирование при изменении погодных условий и за счёт малой длины трубопроводов;
- в результате отсутствия высокого статического давления соблюдаются оптимальные гидравлические режимы в системах жизнеобеспечения зданий;
- характерна низкая себестоимость потребляемой тепловой энергии, которая, как правило, на 10–20 % меньше получаемой от централизованного источника.

Наряду с перечисленными преимуществами крышных котельных, их применение для жилых, общественных, административных и бытовых зданий имеет ряд ограничений, к которым относятся следующие [1–5]:

- не допускается проектирование для зданий детских дошкольных и школьных учреждений, лечебных и спальных

УДК 628.8

Теплоснабжение зданий от крышных котельных при утилизации попутного нефтяного газа

В. В. Горбатова, магистрант; **Т. В. Шукина**, к.т.н., доцент, профессор; **Н. О. Рязанцева**, магистрант, кафедра жилищно-коммунального хозяйства Воронежского государственного технического университета (город Воронеж)

Оценивается перспективность проектирования крышных котельных для теплоснабжения зданий различного назначения. Надёжность котлов средней производительности, автоматическое регулирование режимов и управление, а также их широкий выбор позволяют организовать энергоэффективное обеспечение инженерных систем при применении оборудования эконом-класса. Наряду с этим перенастройка горелок котлов делает возможным использование в качестве топлива попутного нефтяного газа, теплота сгорания которого зависит прежде всего от типа месторождения. Утилизация попутного газа сокращает объём потребления топлива в полтора раза, а главное — решает задачу эффективного энергоснабжения зданий в отсутствие других источников.

Ключевые слова: крышные котельные, энергоэффективность, попутный газ.

UDC 628.8

Heat supply of buildings from roof boiler houses in utilization of associated petroleum gas

V. V. Gorbatova, graduate student; **T. V. Shchukina**, PhD, Associate Professor, Professor; **N. O. Ryazantseva**, graduate student, the Department of housing and communal services of the Voronezh State Technical University (Voronezh city)

The study is based on the design of the roof boiler houses for heat supply of buildings for various purposes. Reliability of boilers of medium capacity, automatic control modes and control, and their wide selection allow you to organize the provision of energy efficient engineering systems in the application of equipment of economy class. Along with this reconfiguration of the burners of the boilers makes it possible to use as fuel, associated petroleum gas, calorific value of which depends primarily on the type field. Utilization of associated gas reduces fuel consumption by 1.5 times, and most importantly solves the problem of efficient energy supply of buildings in the absence of other sources.

Keywords: roof boilers, energy efficiency, associated gas.

❖ Параметры котлов средней мощности, представленных на российском и зарубежном рынках

табл. 1

Параметр	Зарубежные котлы					Российские котлы		
	De Dietrich GT337	MT-100, MT-140, MT-180, MT-240, MT-300	Kentatsu Furst RVS: 80, 100, 125, 150...1000	Kiturami KSG: 100, 150, 200, 300	Fondital Rodi Dual: 120, 200, 250	RS-A100, 150, 200, 300	КП-100 «Очаг»	«Хопер» 100А
Номинальная тепловая мощность, кВт	230	100; 140; 180; 240; 300	93; 116; 145; 174...1163	116; 174; 232; 348	120; 200; 250	100; 150; 200; 300	100	100
КПД, %	95	75	93	93	91,6; 91,74; 91,91	93	85	92
Максимальное рабочее давление, бар	6	6	6	6	5	6	6	6
Объём воды в котле, л	156	н.д.	91; 119; 177; 168...882	214	123; 172; 220	24	440	69
Макс. расход газа, м³/ч	410	36	в зависимости от мощности	11,9	13,86; 23,07; 28,78	59	н.д.	11,7
Горелка	De Dietrich G303-5S	отсутствует	двухступенчатая, модулируемая	TGB	двухступенчатая, модулируемая	Electrosit-810	н.д.	н.д.
Габаритные размеры (в×ш×г), мм	1387×800××1471	400×1250×400; 600×1840×1100; 820×1840×1400	822×710×1155; 853×710×1170; 853×710×1170; 1024×710×1170... 1700×1450×2400	1420×740×1095	911×750×1119; 961×800×1364; 961×800×1614	1100×660×1260; 1385×693×1401; 1385×785×1346; 1405×1061×1451	2035×1675××1032	980×720××1032
Вес, кг	981	200–450	232; 240; 353; 412...2025	350	258; 346; 431	195	1400	340
Стоимость, руб.	330 000	116 400	152 000–807 000	120 000–500 000	141 880; 166 406; 189 530	64 630	270 000	114 000
Страна-производитель	Франция	Украина	Турция	Южная Корея	Италия	Россия	Россия	Россия

корпусов больниц, поликлиник, санаториев и учреждений отдыха;

□ наличие звукового давления ограничивает назначение смежных с котельной помещений, переводя их в категорию кратковременного пребывания людей;

□ размещение теплогенераторов без соответствующего согласования может быть осуществлено на отметке $\leq 26,5$ м, если вырабатываемая мощность не превышает 5 МВт при давлении газа до 0,6 МПа для производственных зданий и 3 МВт при давлении до 0,5 МПа для жилых;

□ при установке водогрейных котлов температура теплоносителя не должна превышать 115 °С;

□ паровые теплогенераторы с давлением насыщенного пара до 0,07 МПа должны для каждого котла удовлетворять условию $(t - 100)V \leq 100$, где t — температура насыщенного пара [°С] при рабочем давлении, а V — объём котла, м³.

Представленные в табл. 1 котлы различных производителей, рекомендуемые к установке на крышах зданий, дают достаточно обширное представление о возможностях оборудования, предлагаемого на российском рынке.

Часто выбор теплогенераторов, в том числе и из перечисленных в табл. 1, и последующее их размещение на перекрытиях последних этажей предприняты низ-

кими затратами на получение полезного тепла по сравнению с центральным теплоснабжением, а также отсутствием значительных расходов на выделение отдельного земельного участка и строительство котельной. Поэтому рассмотрим технические возможности оборудования, рекомендуемого к установке на последних перекрытиях зданий.

НПО «Росс» конструирует и выпускает крышные котельные, базирующиеся на специализированных теплогенерирующих модулях для отопления МТ-300, МТ-240, МТ-180, МТ-140, МТ-100 и модулях для горячего водоснабжения МГ-200, МГ-150, МГ-100, МГ-50.



❖ Рис. 1а. Котлы De Dietrich GT337 (слева) и Fondital Rodi Dual 120



Рис. 16. Внешний вид котлов серии RS-A

Модулями являются проточные газовые аппараты, которые состоят из блока нагрева, выполненного из медного пластинчатого теплообменника, секционной горелки с плавным регулированием мощности, циркуляционного насоса, элементов автоматики и запорной арматуры.

Для крышных котельных обычно применяются теплогенераторы с меньшими сроками службы по сравнению с заложенными в нормативы эксплуатации зданий. Это приводит к необходимости замены оборудования, но масса и габариты монтируемых узлов вызывают затруднения

Напольный двухконтурный дизельный котёл KSG 100 (табл. 1, рис. 1в) мощностью 116 кВт предназначен для отопления жилых и производственных помещений, торговых центров, гостиниц, а также для горячего водоснабжения с большим расходом воды. Его можно перевести и на природный газ путём смены горелки и электронного блока управления. Турбодвухконтурная горелка, используемая в котле Kiturami KSG 100, обеспечивает минимальное потребление топлива и позволяет достичь полноты сжигания за счёт аэродинамического циклонного потока в зоне горения и вторичного дожига продуктов сгорания в специальной цилиндрической камере, нагретой до 950 °С.

Выполненный из специальной высоколегированной стали теплообменник котлов KSG и медный контур горячего водоснабжения повышает степень надёжности оборудования и позволяет использо-

вать в качестве теплоносителя не только воду, но и антифриз. Предусмотренная система безопасности, включающая датчики низкого уровня теплоносителя, перегрева и контроля наличия пламени, направлена на увеличение ресурса безотказной эксплуатации оборудования. Автоматическая электронная система управления в комплекте с выносным пультом эффективно поддерживает заданные энергосберегающие режимы работы и при возникновении перебоев с электропитанием обеспечивает отключение, а затем и самостоятельное включение котла.



Котёл RS-A100



Рис. 1в. Внешний вид котла Kiturami KSG 100

При рассмотрении вариантов теплоснабжения четырёхэтажного торгово-офисного здания (город Туапсе), включающего и цокольный этаж, было отдано предпочтение крышной котельной с теплогенератором RS-A300. В здании предусмотрена водяная горизонтальная система отопления с тепловой нагрузкой 188,074 кВт при температуре наиболее холодной пятидневки -2°C

Так, например, при рассмотрении возможных вариантов теплоснабжения принятого к строительству в городе Туапсе торгово-офисного четырёхэтажного здания (рис. 2), в том числе включающего цокольный этаж, было отдано предпочтение крышной котельной с теплогенератором RS-A300 (рис. 16).

Умеренное ценообразование на туймазинском ООО «Завод котельного оборудования» (промышленная группа Rossen, город Туймазы, Республика Башкортостан) и достигаемые достаточно высокие показатели тепловых процессов (табл. 1) положительно влияют на конкурентоспособность серии RS-A.

Большой нормативный срок службы, неограниченное количество пусков и остановов благодаря специальной «плавающей» конструкции теплообменника, позволяющей трубам свободно перемещаться относительно каркаса котла при тепловом расширении и сжатии в режимах включения и выключения, делают его более привлекательным для потребителей.

Поддерживаемая высокая скорость циркуляции теплоносителя в котлах серии RS-A позволяет предотвратить отложения накипи на стенках топочных труб, что не снижает со временем интенсивность теплообмена.

Предусмотренный малый водяной объём положительно влияет на безопасность эксплуатации как при превышении рабочего давления, так и при перегреве воды. Также высокая степень надёжности достигается автоматикой, управляющей газовыми клапанами, которые отключают горелку при выходе контролируемых параметров за заданные пределы.

В проектируемом здании (рис. 2) предусмотрена водяная горизонтальная система отопления с нагрузкой 188,074 кВт при температуре наиболее холодной пятидневки -2°C . Расход тепла на подогрев наружного воздуха, направляемого в помещения для поддержания требуемого воздухообмена, составляет 77,273 кВт.

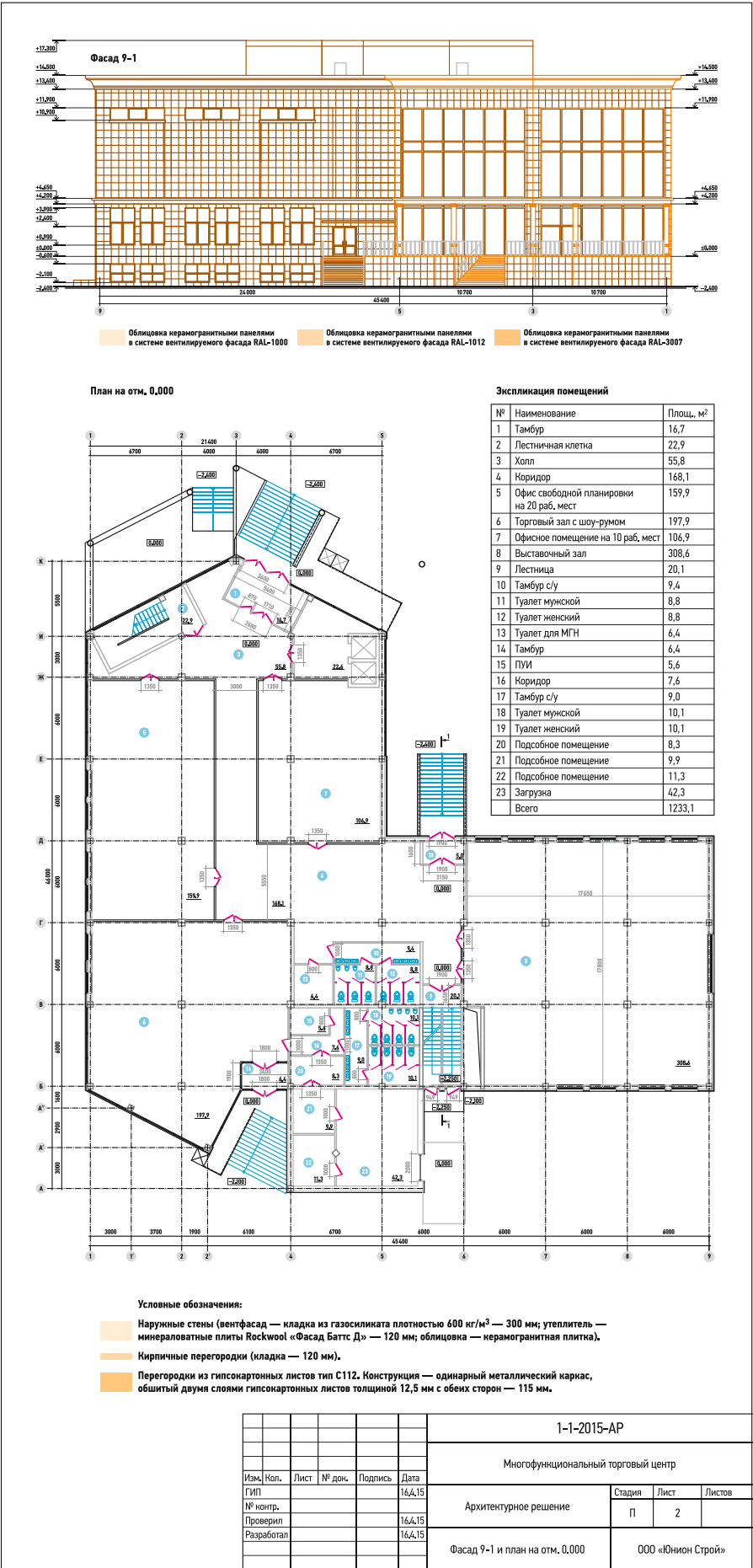


Рис. 2. План первого этажа и фасад торгово-офисного здания

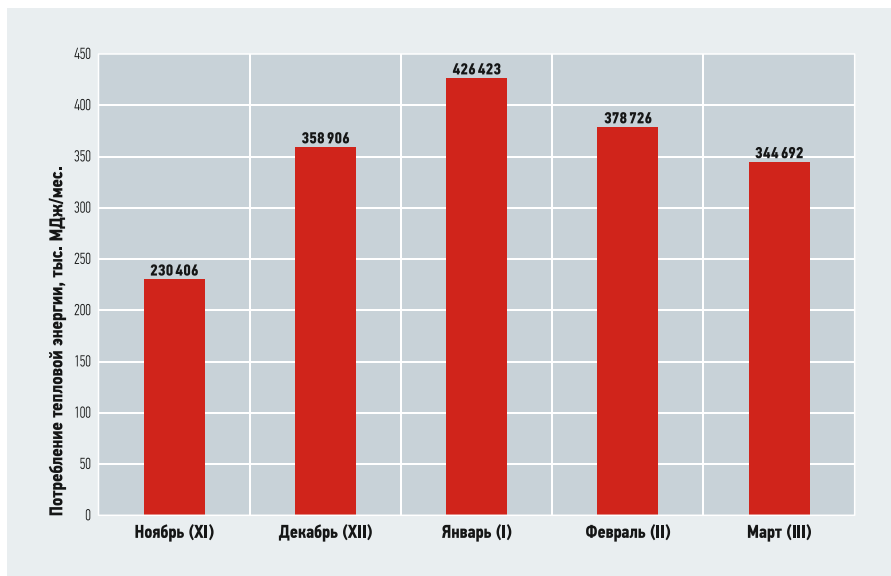


Рис. 3. Потребление тепловой энергии торгово-офисным зданием по месяцам отопительного периода (с ноября по март)

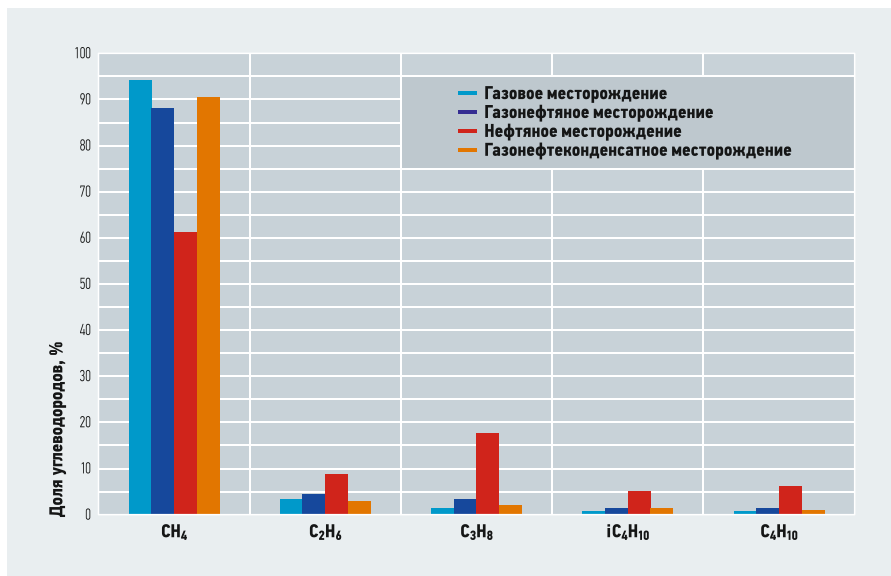


Рис. 4. Соотношение углеводородов [%] в составе газа в зависимости от месторождения

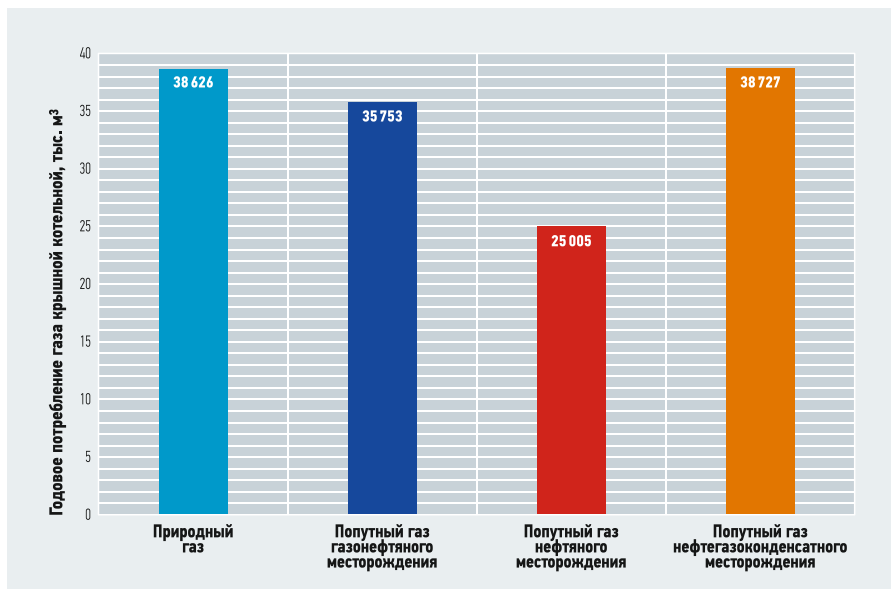


Рис. 5. Годовое потребление крышной котельной природного или попутного газа

Учитывая расчётные показатели, средне-месячное потребление тепловой энергии изменяется от 230 406 до 426 423 МДж (рис. 3). Для обеспечения нормируемого воздушно-теплого режима в торгово-офисном здании за отопительный период будет потреблено 1228,4 ГДж.

Расчётное количество тепла предполагается получать в RS-A300 при подаче в крышную котельную газа, объём которого определяется в соответствии с известной формулой:

$$B = \frac{Q}{\eta Q_n^p}, \quad (1)$$

где Q — потребляемая тепловая энергия, МДж; Q_n^p — низшая теплота сгорания газа, МДж/м³; η — КПД котла.

Рассмотрим возможность использования попутного нефтяного газа для крышной котельной здания. Как правило, переход оборудования на попутный газ не вызывает особых затруднений и осуществляется перенастройкой горелок в котле. Состав попутного нефтяного газа зависит от месторождения и степени сепарации, но для производства теплоты и электроэнергии на ТЭЦ направляют смесь углеводородов, получаемую после первой ступени

Учитывая, что район строительства находится в относительной близости к Кривенковскому месторождению, рассмотрим возможность использования не только природного, но и попутного нефтяного газа для крышной котельной здания. Как правило, переход оборудования на попутный газ не вызывает особых затруднений и осуществляется путём перенастройки горелок в котле.

Состав попутного нефтяного газа (табл. 2, рис. 4) зависит от месторождения и степени сепарации, но для производства теплоты и электроэнергии на ТЭЦ направляют смесь углеводородов, получаемую после первой ступени. В свою очередь, теплота сгорания подобного топлива зависит от состава газа и может быть определена с достаточной точностью для расчётов по формуле:

$$Q_n^p = 0,01 \sum_{i=1}^n (Q_{ni}^p C_i), \quad (2)$$

где Q_{ni}^p — низшая теплота сгорания i -го углеводорода, входящего в состав газа, МДж/м³; C_i — содержание i -го углеводорода в смеси (табл. 2), %.

Компонентный состав попутного нефтяного газа [% от объёма] в зависимости от месторождения (м/р) и степени сепарации [6]

табл. 2

Компонент	Обозн.	Газовое	Газонефтяное м/р			Нефтяное м/р			Нефтегазоконденсатное м/р		
			1 степень	2 степень	3 степень	1 степень	2 степень	3 степень	1 степень	2 степень	3 степень
Метан	CH ₄	94,3442	88,3268	78,1036	68,0128	61,7452	45,6094	19,4437	91,5126	87,8304	68,7840
Этан	C ₂ H ₆	2,9114	4,0652	6,6898	9,9822	7,7166	16,3140	5,7315	2,8332	1,4163	5,3423
Пропан	C ₃ H ₈	0,4312	2,7050	5,2149	9,3708	17,5915	21,1402	4,5642	1,1639	0,1691	8,5214
И-Бутан	и-C ₄ H ₁₀	0,0457	0,6432	2,7913	2,5916	3,7653	5,1382	4,3904	0,5134	2,5041	2,8754
Бутан	C ₄ H ₁₀	0,0719	0,9803	2,0636	3,7911	4,8729	7,0745	9,6642	0,0424	0,2893	5,5696
И-Пентаны	и-C ₅ H ₁₂	0,0289	0,2769	0,8086	1,0854	0,9822	1,4431	9,9321	0,1061	0,4882	1,6965
Пентан	C ₅ H ₁₂	0,0258	0,2720	0,7923	1,0583	0,9173	1,3521	12,3281	0,0172	0,0843	2,2686
И-Гексаны	и-C ₆ H ₁₄	0,0014	0,0665	0,0715	0,2711	0,5266	0,7539	13,8146	0,0637	0,3584	1,5733
Гексан	C ₆ H ₁₄	0,0180	0,0797	0,0857	0,3133	0,2403	0,2825	3,7314	0,0034	0,0169	0,8017
И-Гептаны	и-C ₇ H ₁₆	0,0082	0,0770	0,0827	0,2456	0,0274	0,1321	6,7260	0,2345	1,1063	0,3598
Бензол	C ₆ H ₆	0,0261	0,0264	0,0484	0,0992	0,0017	0,0061	0,0414	0,0036	0,0167	0,0689
Гептан	C ₇ H ₁₆	0,0092	0,0414	0,0446	0,1814	0,1014	0,0753	1,5978	0,0573	0,1954	0,2864
И-Октаны	и-C ₈ H ₁₈	0,0017	0,0337	0,0362	0,0862	0,0256	0,0193	4,3698	0,0526	0,2289	0,0953
Толуол	C ₇ H ₈	0,0111	0,0032	0,0034	0,0040	0,0688	0,0679	0,0901	0,0046	0,0245	0,0038
Октан	C ₈ H ₁₈	0,0058	0,0058	0,0062	0,0033	0,0017	0,0026	0,4826	0,0023	0,0104	0,0017
И-Нонаны	и-C ₉ H ₂₀	0,0035	0,0101	0,0130	0,0232	0,0006	0,0003	0,8705	0,0246	0,0985	0,0014
Нонан	C ₉ H ₂₀	0,0052	0,0121	0,0094	0,0256	0,0015	0,0012	0,8714	0,0013	0,0993	0,0023
И-Деканы	и-C ₁₀ H ₂₂	0,0148	0,0032	0,0045	0,0129	0,0131	0,0100	0,1852	0,0011	0,0092	0,0480
Декан	C ₁₀ H ₂₂	0,0074	0,0067	0,0012	0,0104	0,0191	0,0160	0,1912	0,0010	0,0087	0,0540
Углекислый газ	CO ₂	0,7379	1,2296	1,7089	2,5362	0,0382	0,1084	0,7743	3,1694	4,0638	0,3560
Азот	N ₂	1,2906	1,1349	1,4199	0,2943	1,3430	0,4530	0,1995	0,1873	0,9761	1,2855
Сероводород	H ₂ S	0,0000	0,0003	0,0003	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0046	0,0052	0,0042
Характеристика газа											
Сумма всех компонентов, %		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Молекулярная масса, г/моль		17,111	19,140	22,357	25,711	27,702	32,067	63,371	18,363	20,907	27,699
Плотность газа, г/м ³		711,339	795,677	929,423	1068,848	1151,610	1333,052	2634,436	763,388	869,140	1151,469
Содержание углеводородов C ³⁺ B, г/м ³		17,215	120,073	277,104	440,631	627,019	817,684	2416,626	57,423	179,886	604,411
Содержание углеводородов C ⁵⁺ B, г/м ³		6,468	31,258	64,199	114,626	95,817	135,059	1993,360	22,657	109,290	244,146

Приведённые в ГОСТ 30319.1–96 [7] данные позволяют учитывать десять наиболее значимых компонентов, поэтому зависимость (2) можно записать в удобном для расчётов виде:

$$Q_{\text{H}_2}^{\text{P}} = 0,3337C_{\text{CH}_4} + 0,5939C_{\text{C}_2\text{H}_6} + 0,8494C_{\text{C}_3\text{H}_8} + 1,101C_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + 1,105C_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + 1,357C_{\text{C}_5\text{H}_{12}} + 1,36C_{\text{C}_5\text{H}_{12}} + 1,616C_{\text{C}_6\text{H}_{14}} + 1,871C_{\text{C}_7\text{H}_{16}} + 2,292C_{\text{C}_8\text{H}_{18}} \quad (3)$$

В соответствии с зависимостью (3) и показателями табл. 2 низшая теплота

сгорания составляет: для природного газа — 34,195 МДж/м³; для попутного газа от газонефтяного месторождения — 36,943 МДж/м³, от нефтяного месторождения — 52,822 МДж/м³, от нефтегазоконденсатного месторождения — 34,106 МДж/м³.

При переводе котельной с природного на попутный нефтяной газ расход, определяемый по формуле (1), сократится с 38 626 до 25 005 м³/год (рис. 5), то есть

в полтора раза. Но в этом случае существенным преимуществом является не сокращение объёма потребляемого топлива, а эффективная утилизация попутного продукта без значительных затрат на строительство неподалёку теплоэлектроцентрали или технологических линий по переработке с целью производства углеводородов с качественно другим уровнем свойств. ●

1. Палей Е.Л. Некоторые особенности проектирования крышных котельных. Интернет-ресурс: rendamax.ru. Дата обращения 24.09.2016.
2. Продажа и поставка крышных котельных. ООО «Лаборатория света и тепла». Интернет-ресурс: lst-vrn.ru. Дата обращения 24.09.2016.
3. Крышная котельная: плюсы и минусы. Компания «Роспромгаз». Интернет-ресурс: rospromgaz.ru. Дата обращения 24.09.2016.
4. Завод «Бош Отопительные Системы» — новое предприятие группы компаний Bosch в городе Энгельс Саратовской области. ООО «Бош Термотехника». Интернет-ресурс: bosch-climate.ru/engels. Дата обращения 19.12.2016.
5. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. — М.: Изд. центр «Академия», 2007. 432 с.
6. Филиппов А.В. Компонентный состав попутного нефтяного газа. Интернет-ресурс: avinfo.ru. Дата обращения 25.01.2017.
7. ГОСТ 30319.1–96. Газ природный. Методы расчёта физических свойств. — Минск, 1996.

* References — see page 95.



Heat supply of buildings from roof boiler houses in utilization of associated petroleum gas. Pages 64–69.

V. V. Gorbatova, PhD student; **T. V. Shchukina**, PhD, Associate Professor, Professor;
N. O. Ryazantseva, graduate student, the Department of housing and communal services of the Voronezh State Technical University (Voronezh city)

-
1. Palej E.L. Nekotorye osobennosti proektirovaniya kryshnyh kotel'nyh [Some peculiarities of designing roof boiler houses]. Web-source: rendamax.ru. Appeal of September 24, 2016.
 2. Prodazha i postavka kryshnyh kotel'nyh. OOO "Laboratorija sveta i tepla" [Sale and supply of roof boiler. Light and Heat Laboratory, LLC]. Web-source: lst-vrn.ru. Appeal of September 24, 2016.
 3. Kryshnaja kotel'naja: pljusy i minusy. Kompanija "Rospromgaz" [Roof boilers: the pros and cons. Rospromgaz, LLC]. Web-source: rospromgaz.ru. Appeal of September 24, 2016.
 4. Zavod "Bosh Otopitel'nye Sistemy" — novoe predpriyatie gruppy kompanij Bosch v gorode Jengel's Saratovskoj oblasti. OOO "Bosh Termotekhnika" [The plant "Bosch Heating Systems" is a new enterprise of the Bosch Group in the city of Engels, Saratov region, Russia. Bosch Thermotechnics, LLC]. Web-source: bosch-climate.ru/engels. Appeal of December 19, 2016.