

УДК 662.99

А. А. РЕДЬКО, д-р техн. наук, доцент

С. В. ПАВЛОВСКИЙ, аспирант

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С КОГЕНЕРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Приведена тепловая схема котельного агрегата с когенерацией электроэнергии. Численные результаты показывают возможность выработки электроэнергии в конденсационном цикле с органическим теплоносителем достаточном для потребления на собственные нужды отопительной котельной.

Приведена теплова схема котельного агрегату з когенерацією електроенергії. Чисельні результати показують можливість вироблення електроенергії в конденсаційному циклі з органічним теплоносієм достатньому для вжитку на власні потреби опалювальної котельної.

Введение

Эффективность промышленных отопительных котельных составляет около 85–86 %, что является недостаточным и приводит к нерациональному использованию топлива – природного газа. Температура уходящих газов составляет 180–220 °С. Потери теплоты с уходящими газами является наиболее существенными и составляет около 8–9 % по отношению к низшей теплоте сгорания газа, а при расчете теплового баланса по высшей теплоте сгорания – 16–18 %. Использование теплоты уходящих газов возможно для подогрева воздуха, подаваемого на горение, подогрева обратной сетевой воды системы теплоснабжения. По данным экономия топлива при этом составляет от 0,95 до 3,76 %. Более перспективным является использование теплоты уходящих газов для производства электроэнергии и в последующем для собственных нужд котельных установок.

Распространение получили процессы преобразования низко потенциальной теплоты в электроэнергию с использованием конденсационных паровых турбин в системах утилизации теплоты и когенерации геотермального тепло- и электроснабжения [1, 2], реализуемые цикл Ренкина с различными легкокипящими рабочими веществами [2] в температурном диапазоне геотермальной жидкости до 200 °С. В качестве рабочего теплоносителя бинарной энергетической станции используются органические теплоносители, хладоны и различные смеси [1–3]. Термодинамическая эффективность процесса преобразования энергии существенно зависит от выбора рабочего вещества и параметров цикла установки, поэтому поиск эффективного рабочего вещества продолжается.

По данным [1] мощность вентиляторов, дымососов, сетевых насосов и другого электроиспользующего оборудования в зависимости от типа котлов составляет около 175–2790 кВт при установленных 2–3 котлов КВ-ГМ-10-150 или КВ-ГМ-100. Расчеты н-бутанового цикла показывают возможность выработки около 515 кВт для котла КВ-ГМ-50 и 1030 кВт для котлоустановок из двух агрегатов. Расчеты выполнены для условия охлаждения уходящих дымовых газов от 200 °С до температуры 55 °С атмосферным воздухом (5 °С), что позволяет значительно увеличить энтальпийный перепад в турбине.

Основная часть

Целью настоящей работы является повышение эффективности котельных агрегатов путем утилизации теплоты уходящих газов для выработки электроэнергии. В работе приведены тепловая схема котельного агрегата с утилизационным силовым контуром и результаты численного исследования циклов установки преобразования теплоты уходящих газов котельного агрегата в электроэнергию. На рис. 1 представлена тепловая схема утилизационной установки когенерационной выработки электроэнергии.

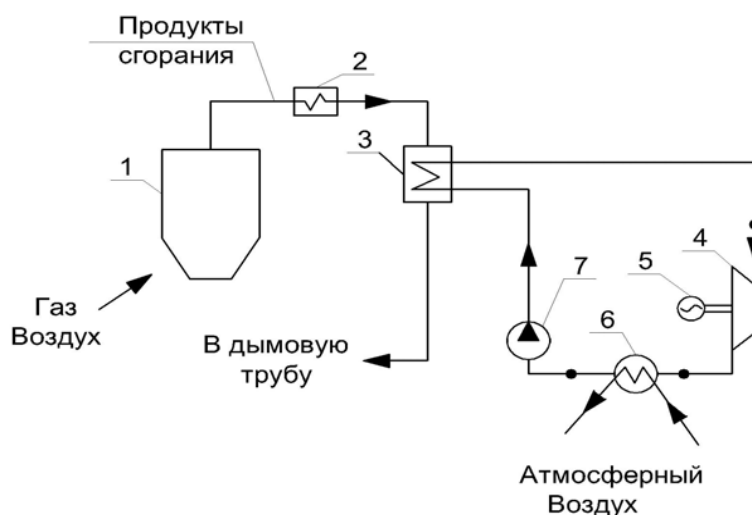


Рис.1. Схема котельного агрегата с теплоутилизационной когенерационной энергоустановкой: 1 – котел, 2 – экономайзер, 3 – утилизатор-испаритель, 4 – турбина, 5 – электрогенератор, 6 – конденсатор, 7 – насос

Утилизация теплоты уходящих газов после котла 1 и экономайзера 2 осуществляется в утилизационном испарителе 3. Пары теплоносителя подаются в турбину 4, где расширяются выполняя работу, приводя во вращение электрогенератор 5. Далее пары конденсируются в конденсаторе 6 и насосом 7 снова подаются в систему утилизации теплоты (регенеративный теплообменник, испаритель). Тепловая схема содержит два утилизационных теплообменника, расположенные до и после экономайзера. При необходимости увеличения выработки электроэнергии используются оба теплообменника, при снижении нагрузки – один теплообменник, второй – как испаритель.

Результаты измерений теплотехнических характеристик различных котлов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Теплотехнические характеристики котельных установок

Тип котла	Теплопроизводительность, ГКа л/час	Расход продуктов сгорания, м ³ /час	Температура, °С
ПТВМ-100	31,0-36,6	49549,2	113
	48,8-57,6	87194,9	143
ПТВМ-30М	17,89	32165,6	120
	29,65	44067,0	165
ДЕ 25/14	5,1	10084,1	208
	9,6	18029,9	258
КВГ-6,5	2,12	4477,4	102
	4,60	8663,2	122
ПТВМ-50	16,3-19,2	48800	88
	31,1-36,8	76750	128
ПТВМ-180	43,8-51,7	83121,2	93
	80,1-94,6	150852,9	110
КВ-ГМ-10	0,71	1757,4	89
	3,37	6300,0	123
ТВГ-8М	1,1	2821,0	93
	4,6	7440,0	160
КПЖ-6,5-0,8ГМ	1,8	3245,2	135

Продолжение таблицы 1			
БГ35/39	15,8	17375,0	106
	45,8	49512,0	158
КВГМ-23,26	7,9	11704,0	100
	18,9	27577,0	150

На рис. 2 показана зависимость КПД котла от тепловой нагрузки, в табл. 2 приведены теплотехнические параметры котла и их изменение в зависимости от нагрузки.

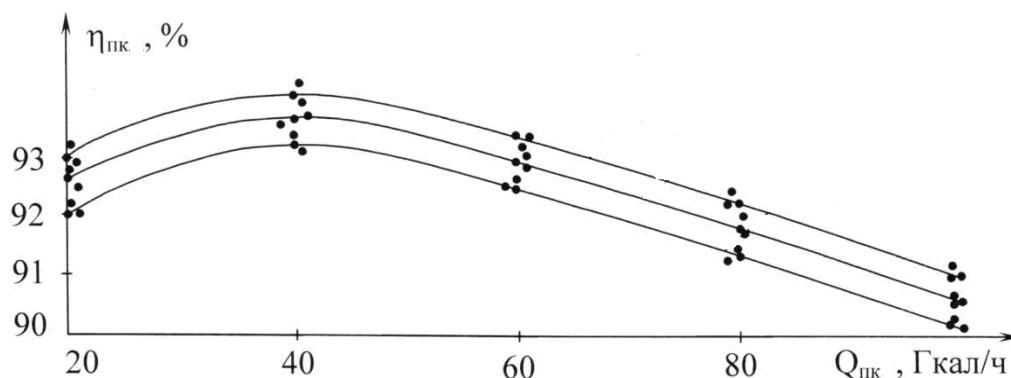


Рис. 2 Зависимости КПД пиковых водогрейных котлов $\eta_{пк}\%$ от нагрузки $Q_{пк}$, Гкал/час

Таблица 2

Функциональные характеристики котельной установки ПТВМ-100

Параметры	Нагрузки на котел Q, Гкал/час					
	25	30	40	60	80	100
1. Температура холодного воздуха на входе в дутьевые вентиляторы $t_{хв}$, °C	5					
2. Расход воды через котел, G_k , тонн/час	1235					
3. Температура воды на выходе из котла t_2 , °C	90	94	102	119	135	150
Температура уходящих газов $t_{ух}$, °C	85	89	102	120	155	180
5. Потери тепла с уходящими газами $\Delta h_{гз}$, %	3,62	3,77	4,28	5,42	6,6	7,69
6. Мощность, потребляемая дутьевыми вентиляторами $N_{дв}$, кВт	23,8	28,2	38,8	59,4	81,6	109,2
7. Удельный расход электроэнергии на дутье $\mathcal{E}_{дв}$, кВт·час/ГКал	0,95	0,96	0,97	0,99	1,02	1,09
8. Коэффициент полезного действия брутто $\eta_{пк}^{бр}$, %	96,33	96,18	95,67	94,53	93,35	92,26

Результаты измерений показывают, что количество вторичных энергетических ресурсов в различных типах котлов достаточно для производства электроэнергии и потребления на собственные нужды. Однако, количество уходящих газов и их

температурный потенциал являются переменными в процессе эксплуатации и уменьшаются при снижении нагрузки. Поэтому при снижении тепловой нагрузки и уменьшении количества уходящих газов необходимо включение второго теплообменника – утилизатора, расположенного до экономайзера.

В настоящей работе приведены также результаты численного исследования циклов преобразования теплоты уходящих газов котельного агрегата в электроэнергию. Исследовались следующие рабочие вещества: iC_4H_{10}/nC_6H_{14} , $iC_4H_{10}/R161$, $iC_4H_{10}/R141в$, NH_3/C_2H_6 , NH_3 , изобутан/изопентан (0,9/0,1). Расход продуктов сгорания в испарителе составляет 27кг/с (котел КВ-ГМ-50), перепад температур между продуктами сгорания и рабочими веществом $\Delta t=3,5$ °С, адиабатный КПД турбины – 0,7-08; КПД насоса -0,75-,080; температура окружающей среды 15 °С. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значение вырабатываемой мощности турбины в циклах с различными рабочими веществами

Рабочее вещество	Расход m, кг/с	Мощность N, кВт	КПД цикла, %	$\eta_{ут}$, %
$NH_3(\Delta t=5^\circ C)$	2,87	641,67	13,93	38,30
$NH_3(\Delta t=3^\circ C)$	2,92	660,73	14,17	39,46
$NH_3/C_2H_6^{*1}$	3,36	424,90	8,44	43,23
$NH_3/C_2H_6^{*2}$	3,37	593,10	12,66	40,86
Изобутан(90)/изопентан(10)	6,72	624,03	13,16	39,51
iC_4H_{10}/nC_6H_{14}	5,24	456,77	13,81	29,64
$iC_4H_{10}/R161$	7,50	615,06	12,22	42,53
$iC_4H_{10}/R141в$	6,85	548,81	12,17	38,56

*Примечание: *1-давление перед турбиной 4000 кПа; *2 – давление перед турбиной 8000 кПа.*

При использовании в цикле аммиака вырабатываемая электрическая мощность выше, чем в цикле с н-бутановом [1], однако, цикл характеризуется более высоким давлением. Смесь аммиака и органического вещества (C_2H_6 -этана) не приводит к существенному увеличению мощности. Более перспективными являются смеси изобутана с н-гексаном и другими веществами (R141в, R161 и др.), характеризующиеся высокими энергетическими и экологическими параметрами[3]. Выработка электроэнергии в цикле выше (548,81-615,06 кВт), чем в н-бутановом цикле[1]. На эффективность циклов теплоутилизационных энергоустановок влияют также значение КПД турбины, насоса и параметры недокуперации в теплообменном оборудовании – испарителе, регенеративном теплообменнике, конденсаторе. Так, снижение $\Delta t_{нед.}$ от $\Delta 5$ до $\Delta 3$ приводит к увеличению выработки мощности в цикле на 3-5%.

Выводы

Результаты исследования показывают что, при использовании теплоты уходящих газов котла типа ПТВМ-50 возможна выработка электроэнергии в когенерационном силовом цикле в объеме 641-660кВт, что обеспечивает собственные нужды отопительной котельной, при установке двух котлов.

Список литературы

1. Пятничко В. А. Утилизация низкопотенциального тепла в энергетических установках с органическими теплоносителями. / В. А. Пятничко // Экотехнологии и ресурсосбережение. –2002. – № 5. – С.10–14.
2. Редько А. А. Методы повышения эффективности систем геотермального теплоснабжения. – Макеевка: ДонНАСА, 2010. – 302 с.
3. Артеменко С. Выбор рабочих тел для низкотемпературных циклов Ренкина на

органических веществах. II Фторированные эфиры //Артеменко С., Никитин Д. // Холодильна техника и технология. – 2010. – Т. 123, № 1. – С. 6–10.

ADVANCED BOILER PLANT DIAGRAM WITH COGENERATION OF ENERGY

A. A. Redko, Dr. Scie. Tech.

S. V. Pavlovskiy, graduate student

In this article boiler unit diagram with cogeneration of energy is considered. Numerical results show capability to produce energy in condensation cycle with organic heat carrier which meet the auxiliaries electricity demands of heating plant.

Поступила в редакцию 11.10 2011 г.
