

УДК 620.9; 621.1

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ ЗА СЧЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ В СХЕМУ АБСОРБЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕПЛОТЫ**

**Р.Н. Валиев, Ш.Г. Зиганшин, Ю.В. Ваньков, Р.Р. Гарипов**

**Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия**  
valievkgeu@yandex.ru

***Резюме:** В данной статье рассмотрен вопрос повышения эффективности парогазовой установки с одноконтурным котлом-утилизатором за счет включения в схему абсорбционного бромисто-литиевого преобразователя теплоты.*

***Ключевые слова:** парогазовая установка, одноконтурный котел-утилизатор, абсорбционный бромисто-литиевый преобразователь теплоты, повышение эффективности.*

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE COMBINED CYCLE PLANT WITH HEAT-RECOVERY BOILER DUE TO THE INCLUSION IN THE SCHEME OF ABSORPTION CONVERTER OF HEAT**

**R.N. Valiev, S.G. Ziganshin, U.V. Vankov, R.R. Garipov**

**Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia**  
valievkgeu@yandex.ru

***Abstract:** In this article the question of increase of efficiency of the combined cycle plant with single-loop heat-recovery boiler due to the inclusion in the scheme of absorption bromide lithium converter of heat.*

***Keywords:** combined cycle plant, single-loop waste heat boiler, absorption bromide lithium converter of heat, improving the efficiency.*

Целью исследования является разработка схемного решения, в котором совместно с парогазовой установкой с одноконтурным котлом утилизатором (далее по тексту ПГУ) будет задействован абсорбционный бромисто-литиевый преобразователь теплоты (далее по тексту АБПТ).

**Описание базового варианта одноконтурной ПГУ [1–3]**

Схема базового варианта одноконтурной ПГУ показана на рис. 1. Основными элементами ПГУ являются: газотурбинная установка 1, котел-утилизатор 2 и паровая турбина 3. Котел-утилизатор имеет пять теплообменных поверхностей: пароперегреватель ПП, испаритель И1, экономайзер Э, газовый подогреватель конденсата ГПК и газовый подогреватель сетевой воды ГПСВ. Для имитации потребителя теплоты после ГПСВ в схему включен водо-водяной теплообменник ВВТО. На схеме также выделены и пронумерованы: деаэратор 4, конденсатор паровой турбины 5, барабан котла-утилизатора 6, градирня обратного водоснабжения 7.

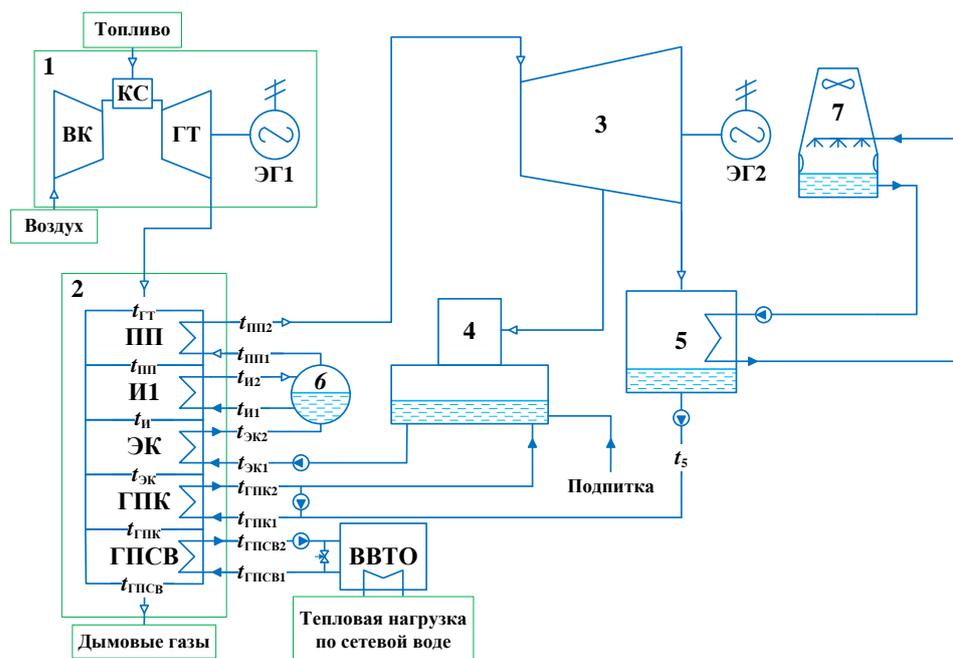


Рис.1. Схема базового варианта ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором:  
 1 – газотурбинная установка; 2 – котел-утилизатор (КУ); 3 – паровая турбина; 4 – деаэратор; 5 – конденсатор паровой турбины; 6 – барабан; 7 – градирня оборотного водоснабжения. Буквенные обозначения: КС – камера сгорания; ВК – воздушный компрессор; ГТ – газовая турбина; ЭГ1 – электрогенератор газовой турбины; ЭГ2 – электрогенератор паровой турбины; И1 – испаритель; Э – экономайзер; ГПК – газовый подогреватель конденсата; ГПСВ – газовый подогреватель сетевой воды; ВВТО – водо-водяной теплообменник. Расшифровка принятых обозначений температур потоков на схеме приведена в табл. 2

В камере сгорания газотурбинной установки сжигается топливо, смешанное с воздухом после воздушного компрессора, и образуются дымовые газы, которые направляются в газовую турбину для совершения полезной работы, в результате которой вырабатывается электрическая энергия. Отработанные в газовой турбине дымовые газы, пройдя через теплообменные поверхности котла-утилизатора и дымовую трубу, рассеиваются в атмосфере. В теплообменных поверхностях котла-утилизатора за счет теплообмена с дымовыми газами вырабатывается перегретый водяной пар и нагревается вода. Выработанный пар поступает в паровую турбину для совершения полезной работы, в результате которой вырабатывается электрическая энергия. Отработанный пар из паровой турбины отводится в конденсатор паровой турбины, в котором поддерживается необходимое разрежение и происходит теплообмен с оборотной водой, для конденсации. Образовавшийся конденсат перекачивается через газовый подогреватель конденсата, где подогревается до заданной температуры, в деаэратор. В деаэратор также поступают: греющий пар из промежуточного отбора паровой турбины и химочищенная вода из цеха химводоподготовки. Из деаэратора питательная вода подается в экономайзер. Цикл замыкается. Теплофикационная вода нагревается в газовом подогревателе сетевой воды.

#### Описание АБПТ [4–7]

Схема АБПТ показана на рис. 2. Абсорбционный бромисто-литиевый преобразователь теплоты состоит из пяти основных элементов: генератора Г, конденсатора К, испарителя И2, абсорбера А и теплообменника растворов ТО.

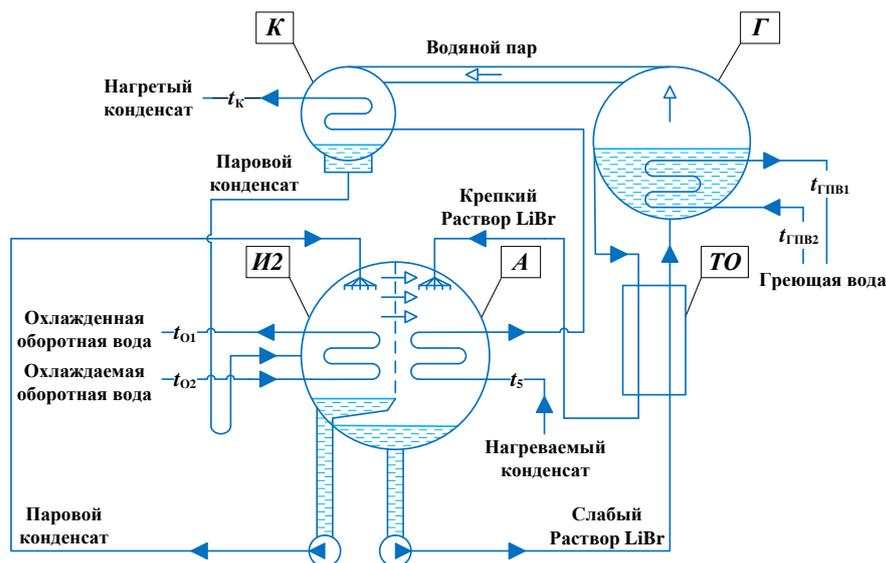


Рис 2. Схема АБПТ:

Г – генератор; К – конденсатор; И2 – испаритель; А – абсорбер;  
ТО – теплообменник. Расшифровки обозначений температур потоков приведены в табл. 1

В генератор подводится высоко- или среднетенциальная теплота от греющего источника в виде продуктов сгорания, водяного пара или горячей воды, в результате чего слабый раствор (раствор с низкой концентрацией бромистого лития) кипит с образованием водяного пара и крепкого раствора (раствора с высокой концентрацией бромистого лития).

Полученный водяной пар направляется в конденсатор, а оставшийся после выпаривания крепкий раствор через теплообменник растворов подается в абсорбер. В конденсаторе водяной пар конденсируется за счет передачи теплоты нагреваемому технологическому потоку, а образовавшийся паровой конденсат через гидрозатвор отводится в испаритель. В испарителе создается и поддерживается необходимое разряжение, при котором паровой конденсат кипит за счет организации теплообмена с потоком низкопотенциальной теплоты в виде нагретой обратной воды. Выработанный в испарителе водяной пар переходит в абсорбер.

В абсорбере водяной пар орошается крепким раствором и конденсируется с образованием слабого раствора. Теплота, выделившаяся в процессе абсорбции, передается нагреваемому технологическому потоку. Слабый раствор из абсорбера через теплообменник растворов перекачивается в генератор и цикл замыкается.

Коэффициент преобразования теплоты, который может быть получен в АБПТ, зависит от потенциала используемых источников теплоты, параметров термодинамического цикла, свойств раствора и характеристик оборудования [8–11].

#### Описание нового варианта одноконтурной ПГУ

Схема нового варианта одноконтурной ПГУ показана на рис. 3.

Принципиальные отличия предлагаемой схемы ПГУ от базовой заключаются:

- в добавлении в схему АБПТ;
- в установке дополнительной поверхности нагрева в котле-утилизаторе;
- в использовании низкопотенциальной теплоты обратной воды.

В базовой схеме без АБПТ конденсат из конденсатора паровой турбины перед подачей в деаэрактор нагревается в газовом подогревателе конденсата ГПК (рис. 1).

В новой схеме нагреваемый конденсат последовательно проходит через три теплообменные поверхности: абсорбер АБПТ, конденсатор АБПТ и газовый подогреватель конденсата ГПК.

Для обогрева генератора АБПТ в качестве теплоносителя используется вода, нагреваемая в дополнительной поверхности нагрева котла-утилизатора, газовом подогревателе воды ГПВ.

Для обогрева испарителя АБПТ в качестве теплоносителя используется низкопотенциальная теплота оборотной воды после конденсатора паровой турбины.

В остальном новая схема по описанию идентична базовой схеме, показанной на рис. 1.

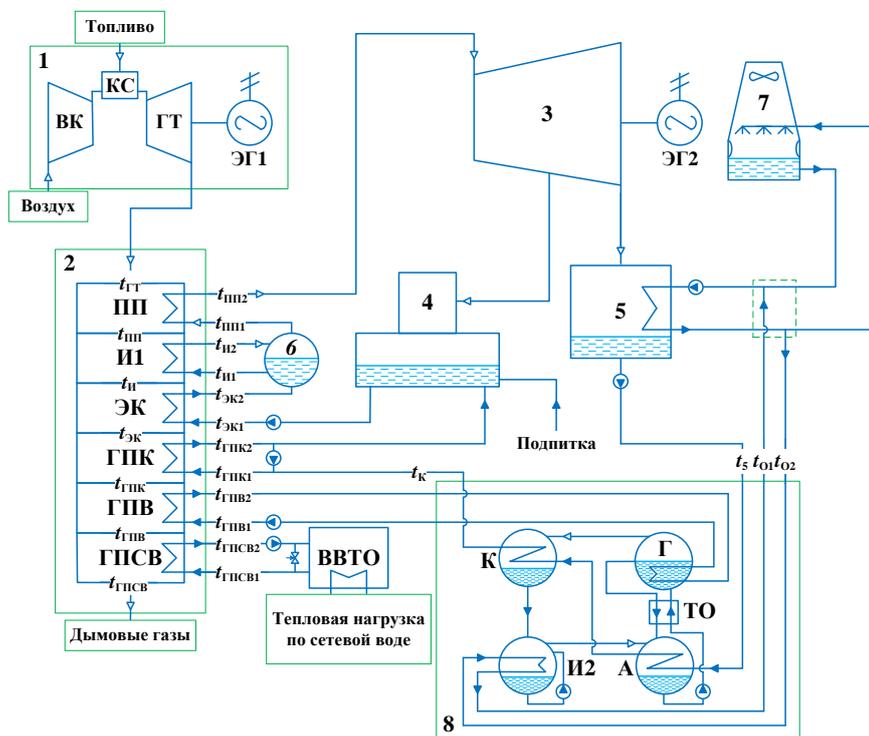


Рис. 3. Схема нового варианта ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором и АБПТ:

1 – газотурбинная установка; 2 – котел-утилизатор (КУ); 3 – паровая турбина; 4 – деаэратор; 5 – конденсатор паровой турбины; 6 – барабан КУ; 7 – градирня оборотного водоснабжения; 8 – АБПТ. Буквенные обозначения: КС – камера сгорания; ВК – воздушный компрессор; ГТ – газовая турбина; ЭГ1 – электрогенератор газовой турбины; ЭГ2 – электрогенератор паровой турбины; И1 – испаритель КУ; Э – экономайзер КУ; ГПК – газовый подогреватель конденсата КУ; ГПВ – газовый подогреватель воды КУ; ГПСВ – газовый подогреватель сетевой воды КУ; ВВТО – водо-водяной теплообменник; Г – генератор АБПТ; И2 – испаритель АБПТ; К – конденсатор АБПТ; А – абсорбер АБПТ. Расшифровка принятых обозначений температур потоков на схеме приведена в табл. 1, 3

Преимуществом нового схемного решения является увеличение тепловой мощности ГПСВ. Недостатком – усложнение схемы и дополнительные затраты на приобретение и внедрение нового оборудования.

#### Методика сравнительной оценки эффективности

Для сравнительной оценки эффективности базовой и новой схем ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором были определены исходные данные и произведены необходимые расчеты в следующей последовательности: 1) расчет базовой схемы ПГУ; 2)

расчет АБПТ; 3) расчет новой схемы ПГУ; 3) сравнительная оценка теплоэнергетической эффективности включения АБПТ в схему ПГУ на основе анализа полученных результатов.

Расчет схем ПГУ проводился в компьютерной программе, предназначенной для расчета тепловых схем парогазовых установок с котлами-утилизаторами. В основу рабочего алгоритма программы заложены общепринятые классические методики расчета тепловых схем ПГУ [1]. Для ввода исходных данных и вывода результатов в программе использованы возможности пакета *Microsoft Excel* со встроенным языком программирования *VBA*.

Для сопоставимости результатов расчета базового и нового вариантов схемы ПГУ генерируемая установками электрическая мощность, параметры и количество вырабатываемого перегретого водяного пара, а также температура покидающих котел-утилизатор дымовых газов приняты одинаковыми и определялись для четырех рабочих режимов с наиболее характерными температурами наружного воздуха.

Расчет АБПТ проводился отдельно от расчета тепловых схем ПГУ по общепринятым классическим методикам, приведенным в литературе [5, 6]. Тепловые нагрузки аппаратов АБПТ определялись по расходу конденсата из паровой турбины.

### Полученные результаты

Показатели, представляющие интерес для сравнительной оценки эффективности базовой и новой схем ПГУ, приведены для АБПТ в табл. 1, для базового варианта схемы ПГУ – в табл. 2, для нового варианта схемы ПГУ – в табл. 3.

Таблица 1

Показатели АБПТ

№ п/п	Наименование величины и размерность	Обозначение	Температура наружного воздуха, °С			
			-32	-18	-5,2	8
1	Тепловая нагрузка генератора, кВт	$Q_{Г}$	1550	1550	1530	1495
2	Тепловая нагрузка испарителя, кВт	$Q_0$	1088	1087	1071,47	1047,2
3	Тепловая нагрузка конденсатора, кВт	$Q_{К}$	1153	1152	1134,9	1109,27
4	Тепловая нагрузка абсорбера, кВт	$Q_{А}$	1490,29	1489,29	1466,2	1433,08
5	Тепловая нагрузка промежуточного теплообменника, кВт	$Q_{ТО}$	347,93	345,26	342,3	334,58
6	Температура греющей воды на входе в генератор, °С	$t_{ГТВ2}$	160	160	160	160
7	Температура греющей воды на выходе из генератора, °С	$t_{ГТВ1}$	130	130	130	130
8	Температура оборотной воды на входе в испаритель, °С	$t_{О2}$	35	35	35	35
9	Температура оборотной воды на выходе из испарителя, °С	$t_{О1}$	20	20	20	20
10	Температура конденсата паровой турбины на входе в абсорбер, °С	$t_5$	39	39	39	39
12	Температура конденсата паровой турбины на выходе из конденсатора, °С	$t_{К}=t_{ГПК1}$	75	75	75	75
13	Расход греющей воды через генератор, кг/с	$G_{Г}$	12,01	12	11,89	11,56
14	Расход конденсата паровой турбины через абсорбер и конденсатор, кг/с	$G_{А}=G_{К}$	17,49	17,47	17,21	16,82
15	Расход оборотной воды через испаритель, кг/с	$G_{И}$	17,27	17,26	17	16,62

Показатели базовой схемы ПГУ

№ п/п	Наименование величины и размерность	Обозначение	Температура наружного воздуха, °С			
			-32,0	-18,0	-5,2	8,0
1	Температура дымовых газов за газовой турбиной, °С	$t_{ГТ}$	518,7	526,4	532,7	538,8
2	Температура дымовых газов за пароперегревателем, °С	$t_{ПП}$	454,0	458,4	462,0	465,4
3	Температура дымовых газов за испарителем, °С	$t_{И}$	255,4	255,4	255,4	255,4
4	Температура дымовых газов за экономайзером, °С	$t_{ЭК}$	215,7	214,8	214,0	213,3
5	Температура дымовых газов за ГПК, °С	$t_{ГПК}$	166,4	164,4	162,7	161,1
6	Температура дымовых газов за ГПСВ, °С	$t_{ГПСВ}$	110,0	110,0	110,0	110,0
7	Давление пара на выходе из пароперегревателя, МПа	$P_{ПП}$	3,5	3,5	3,5	3,5
8	Температура пара на выходе из пароперегревателя, °С	$t_{ПП2}$	478,7	486,4	492,7	498,8
9	Температура пара на входе в пароперегреватель, °С	$t_{ПП1}$	478,7	486,4	492,7	498,8
10	Температура пара на выходе из испарителя, °С	$t_{ИП2}$	245,4	245,4	245,4	245,4
11	Температура воды на входе в испаритель, °С	$t_{ИП1}$	245,4	245,4	245,4	245,4
12	Температура воды на выходе из экономайзера, °С	$t_{ИП2}$	235,4	235,4	235,4	235,4
13	Температура воды на входе в экономайзер, °С	$t_{ИП1}$	159,4	159,4	159,4	159,4
14	Температура воды на выходе из ГПК, °С	$T_{ГПК2}$	143,8	143,8	143,8	143,8
15	Температура воды на входе в ГПК, °С	$t_{ГПК1}$	60,0	60,0	60,0	60,0
16	Температура воды на выходе из ГПСВ, °С	$t_{ГПСВ2}$	140,0	140,0	140,0	140,0
17	Температура воды на входе в ГПСВ, °С	$t_{ГПСВ1}$	80,0	65,0	60,0	60,0
18	Температура прямой воды тепловой сети, °С	$\tau_{01}$	130,0	98,0	70,0	70,0
19	Температура обратной воды в тепловой сети, °С	$\tau_{02}$	70,0	55,0	42,0	42,0
18	Тепловая мощность ГПСВ, МВт	$Q_{ГПСВ}$	8,77	8,25	7,73	7,21
19	Расход дымовых газов за ГТ, кг/с	$G_{ДГ}$	146,0	142,6	138,0	132,7
20	Расход пара через пароперегреватель, кг/с	$G_{ПП}$	18,10	18,07	17,80	17,40
21	Расход воды на испаритель, кг/с	$G_{И}$	18,10	18,07	17,80	17,40
22	Расход воды через экономайзер, кг/с	$G_{Э}$	18,47	18,44	18,16	17,75
23	Расход воды через ГПК, кг/с	$G_{ГПК}$	21,83	21,80	21,47	20,99
24	Расход воды через ГПСВ, кг/с	$G_{ГПСВ}$	34,59	26,08	22,94	21,38

Показатели новой схемы ПГУ

№ п/п	Наименование величины и размерность	Обозначение	Температура наружного воздуха, °С			
			-32,0	-18,0	-5,2	8,0
1	Температура дымовых газов за газовой турбиной, °С	$t_{ГТ}$	518,7	526,4	532,7	538,8
2	Температура дымовых газов за пароперегревателем, °С	$t_{ПП}$	454,0	458,4	462,0	465,4
3	Температура дымовых газов за испарителем, °С	$t_{И}$	255,4	255,4	255,4	255,4
4	Температура дымовых газов за экономайзером, °С	$t_{ЭК}$	215,7	214,8	214,0	213,3
5	Температура дымовых газов за ГПК, °С	$t_{ГПК}$	183,3	181,6	180,3	179,0
6	Температура дымовых газов за ГПВ, °С	$t_{ГПВ}$	173,4	171,5	169,9	168,5
7	Температура дымовых газов за ГПСВ, °С	$t_{ГПСВ}$	110,0	110,0	110,0	110,0
8	Давление пара на выходе из пароперегревателя, МПа	$P_{ПП}$	3,5	3,5	3,5	3,5
9	Температура пара на выходе из пароперегревателя, °С	$t_{ПП2}$	478,7	486,4	492,7	498,8
10	Температура пара на входе в пароперегреватель, °С	$t_{ПП1}$	478,7	486,4	492,7	498,8
11	Температура пара на выходе из испарителя, °С	$t_{ПП2}$	245,4	245,4	245,4	245,4
12	Температура воды на входе в испаритель, °С	$t_{ПП1}$	245,4	245,4	245,4	245,4
13	Температура воды на выходе из экономайзера, °С	$t_{ПП2}$	235,4	235,4	235,4	235,4
14	Температура воды на входе в экономайзер, °С	$t_{ПП1}$	159,4	159,4	159,4	159,4
15	Температура воды на выходе из ГПК, °С	$T_{ГПК2}$	143,8	143,8	143,8	143,8
16	Температура воды на входе в ГПК, °С	$t_{ГПК1}$	75	75	75	75
17	Температура воды на выходе из ГПВ, °С	$T_{ГПВ2}$	160	160	160	160
18	Температура воды на входе в ГПВ, °С	$t_{ГПВ1}$	130	130	130	130
19	Температура воды на выходе из ГПСВ, °С	$t_{ГПСВ2}$	140,0	140,0	140,0	140,0
18	Температура воды на входе в ГПСВ, °С	$t_{ГПСВ1}$	80,0	65,0	60,0	60,0
19	Температура прямой воды тепловой сети, °С	$t_{01}$	130,0	98,0	70,0	70,0
20	Температура обратной воды в тепловой сети, °С	$t_{02}$	70,0	55,0	42,0	42,0
21	Тепловая мощность ГПСВ, МВт	$Q_{ГПСВ}$	9,85	9,33	8,79	8,20
22	Расход дымовых газов за ГТ, кг/с	$G_{ДГ}$	146,0	142,6	138,0	132,7
23	Расход пара через пароперегреватель, кг/с	$G_{ПП}$	18,10	18,07	17,80	17,40
24	Расход воды на испаритель, кг/с	$G_{И}$	18,10	18,07	17,80	17,40
25	Расход воды через экономайзер, кг/с	$G_{Э}$	18,47	18,44	18,16	17,75
26	Расход воды через ГПК, кг/с	$G_{ГПК}$	17,49	17,47	17,21	16,82
27	Расход воды через ГПВ, кг/с	$G_{ГПВ}$	12,01	12	11,89	11,56
28	Расход воды через ГПСВ, кг/с	$G_{ГПСВ}$	38,87	29,51	26,08	24,48

Гистограмма изменения температуры дымовых газов в теплообменных поверхностях котла-утилизатора для базового и нового вариантов схемы показана на рис. 5.

Гистограмма построена для климатических условий г. Казань при средней температуре наружного воздуха для отопительного периода  $-5,2^{\circ}\text{C}$ .

Из гистограммы и табл. 1 и 2 видно, что в новой схеме, благодаря предварительному нагреву конденсата после паровой турбины в абсорбере АБПТ и конденсаторе АБПТ, при прочих равных условиях температура дымовых газов на входе в газовый подогреватель сетевой воды выше на  $7^{\circ}\text{C}$ .

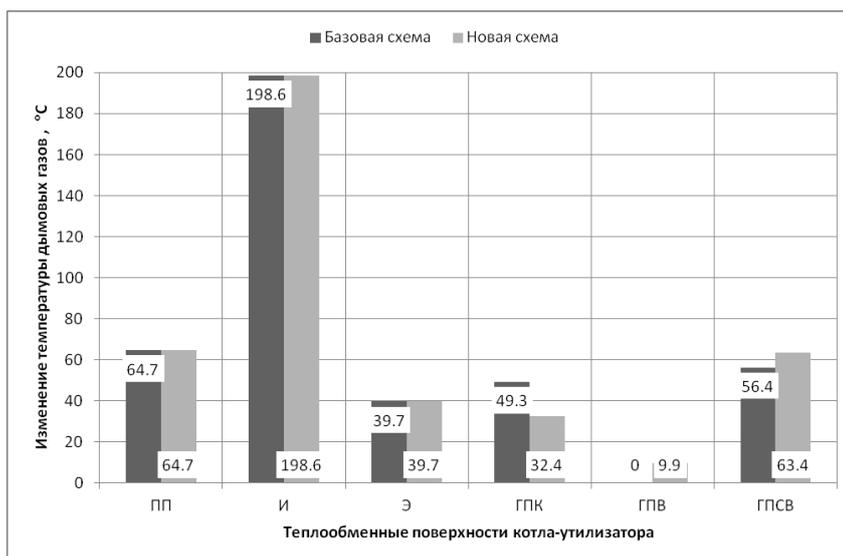


Рис. 5. Изменение температуры дымовых газов в теплообменных поверхностях котла-утилизатора для базового и нового вариантов схемы ПГУ: ПП – пароперегреватель; И – испаритель; Э – экономайзер; ГПК – газовый подогреватель конденсата (в базовой схеме теплосъем больше на  $49,3-32,4=16,9^{\circ}\text{C}$ ); ГПВ – газовый подогреватель воды для генератора АБПТ (в базовой схеме ГПВ отсутствует, в новой схеме теплосъем в ГПВ составляет  $9,9^{\circ}\text{C}$ ); ГПСВ – газовый подогреватель сетевой воды (в новой схеме теплосъем увеличился на  $63,4-56,4=7^{\circ}\text{C}$ )

На рис. 6 показан график тепловой мощности газового подогревателя сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха для базового и нового вариантов схемы.

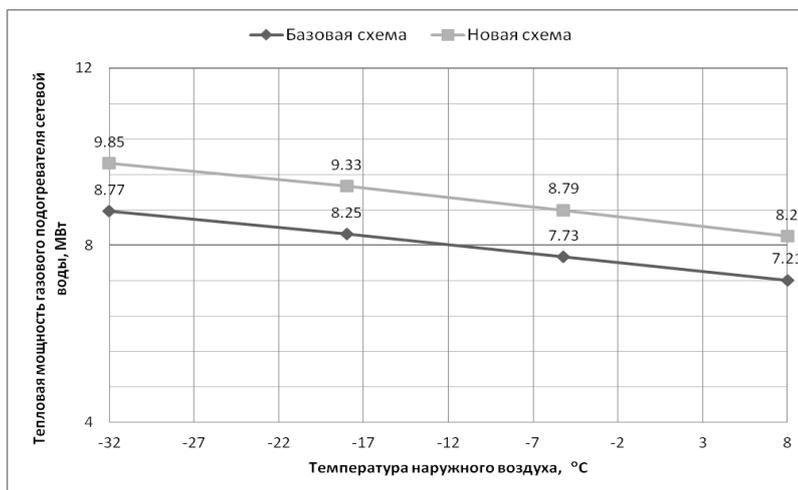


Рис.6. Тепловая мощность газового подогревателя сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха для базового и нового вариантов схемы ПГУ

Из графика следует, что в новом варианте схемы ПГУ тепловая мощность газового подогревателя сетевой воды в рассмотренном интервале наружных температур может быть, при прочих равных условиях, увеличена, по сравнению с базовым вариантом, на  $0,99\text{ MWt}$

при температуре наружного воздуха +8°C, на 1,06 МВт при температуре наружного воздуха -5,2°C; на 1,08 МВт при температурах наружного воздуха -18 и -32°C.

### Выводы

1. Предложено и рассмотрено новое схемное решение для ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором и АБПТ.

2. Проведено расчетное исследование и получены результаты, подтверждающие теплоэнергетическую эффективность новой схемы ПГУ по сравнению с базовым вариантом. В заданном интервале температур наружного воздуха тепловая мощность газового подогревателя сетевой воды за счет установки АБПТ увеличена на 12–14 % от своего прежнего значения.

3. Увеличение тепловой мощности ГПСВ при прочих равных условиях позволяет получить дополнительный доход от реализации тепловой энергии, который можно приближенно оценить по формуле, руб/год,

$$\Delta D_{TЭ} = 1,163 \Delta Q_{TЭ} \tau_{TЭ} C_{TЭ} \eta_{TЭ}, \quad (1)$$

где  $\Delta D_{TЭ}$  – доход от реализации дополнительной тепловой мощности, руб/год; 1,163 – коэффициент для перевода МВт в Гкал/ч;  $\Delta Q_{TЭ}$  – дополнительно реализуемая тепловая мощность, МВт;  $\tau_{TЭ}$  – число часов в году, в течение которых реализуется дополнительная тепловая мощность, ч/год;  $C_{TЭ}$  – отпускная цена 1 Гкал тепловой энергии, руб/Гкал;  $\eta_{TЭ}$  – коэффициент полезного действия тарифа, учитывающий все дополнительные неучтенные в тарифе расходы и потери в процессе производства, транспортировки, распределения и реализации дополнительной тепловой мощности, о.е.

Например, при увеличении отпуска теплоты потребителям на  $\Delta Q_{TЭ} = 1$  МВт, при условии реализации тепловой энергии в течение  $\tau_{TЭ} = 8400$  часов/год и принятой стоимости тепловой энергии  $C_{TЭ} = 1626$  руб/Гкал, с заданным коэффициентом полезного действия тарифа  $\eta_{TЭ} = 0,5$ , дополнительный годовой доход составит

$$\Delta D_{TЭ} = 1,163 \Delta Q_{TЭ} \tau_{TЭ} C_{TЭ} \eta_{TЭ} = 1,163 \cdot 1 \cdot 8400 \cdot 1626 \cdot 0,5 = 7\,942\,360 \text{ руб/год.}$$

### Литература

1. Трухницкий А.Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов по направлению подготовки «Энергетическое машиностроение» и «Теплоэнергетика и теплотехника». Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. 646 с.
2. Щинников П.А., Назаренко Г.В., Григорьева О.К. и др. Комплексный анализ парогазовых ТЭЦ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 3-4. С. 15–20.
3. Heejin Cho, Amanda D. Smith, Pedro Mago, Combined cooling, heating and power: A review of performance improvement and optimization, Applied Energy. 2014. Volume 136. P. 168–185.
4. Ноздренко Г.В., Щинников П.А., Томилов В.Г. Пугач Ю.Л. Двухтрубная система теплоснабжения с абсорбционным бромисто-литиевым тепловым насосом // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2000. № 5-6. С. 25–28.
5. Бараненко А.В., Тимофеевский Л.С., Долотов А.Г., Попов А.В. Абсорбционные преобразователи теплоты: моногр. СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. 338 с.
6. Тимофеевский Л.С., Пекарев В.И., Бухарин Н.Н. и др. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин, тепловых насосов и термотрансформаторов. Ч.1. Расчет циклов, термодинамических и теплофизических свойств рабочих веществ. СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. 260 с.
7. Галимова Л.В. Эффективность энергосберегающих систем на базе абсорбционных термотрансформаторов: автореф. дис.... д-ра техн. наук. Астрахань: Астрахан. ГТУ, 2004. 32 с.
8. Christian Keil, Stefan Plura, Michael Radspieler, Christian Schweigler, Application of customized absorption heat pumps for utilization of low-grade heat sources, Applied Thermal Engineering, Volume 28, Issue 16, 2008, p. 2070–2076.
9. Романюк В.Н., Бобич А.А. Абсорбционные тепловые насосы на ТЭЦ Белорусской ОЭС на примере Мозырской ТЭЦ // Энергия и Менеджмент. 2015. № 1. С. 13–20.

10. Романюк В.Н, Бобич А.А. Обоснование параметров АБТН для утилизации ВЭР на ТЭЦ с помощью пассивного эксперимента и определение соответствующих изменений различных оценок работы энергосистемы // Энергия и Менеджмент. 2016. № 1. С. 14–23.

11. Романюк В.Н, Бобич А.А. Численное исследование тепловых схем ТЭЦ с помощью их топологических моделей // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2016. Т. 59, № 4. С. 376–390.

#### **Авторы публикации**

**Валиев Радик Нурттинович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: valievkgeu@yandex.ru.

**Зиганшин Шамиль Гаязович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: shz@list.ru.

**Ваньков Юрий Витальевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: yvankov@mail.ru.

**Гарипов Ранис Рафисович** – магистр техники и технологий кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

#### **References**

1. Parogazovye ustanovki elektrostantsiy: uchebnoe posobie dlya vuzov po napravleniyu podgotovki "Energeticheskoe mashinostroenie" i "Teploenergetika i teplotekhnika" / A. D. Trukhniy. Moskva: Izdatelskiy dom MEI, 2013, 646 p.

2. Kompleksnyy analiz parogazovykh TETs [Tekst] / P. A. Shchinnikov [i dr.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. 2010. № 3-4. P. 15-20.

3. Heejin Cho, Amanda D. Smith, Pedro Mago, Combined cooling, heating and power: A review of performance improvement and optimization, Applied Energy, Volume 136, 2014, p. 168-185.

4. Dvukhtrubnaya sistema teplosnabzheniya s absorbtionnym bromisto-litievym teplovym nasosom / G. V. Nozdrenko [i dr.]. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2000. № 5-6. P. 25-28.

5. Absorbtsionnye preobrazovateli teploty / Baranenko A. V., Timofeevskiy L. S., Dolotov A. G., Popov A. V.: monogr. SPb.: SPbGUNIPT, 2006, 338 p.

6. Teplovye i konstruktivnye raschety kholodilnykh mashin, teplovykh nasosov i termotransformatorov. Ch.I. Raschet tsiklov, termodinamicheskikh i teplofizicheskikh svoystv rabochikh veshchestv / Timofeevskiy L. S., Pekarev V. I., Bukharin N. N. i dr. SPb.: SPbGUNIPT, 2006, 260 p.

7. Effektivnost energosberegayushchikh sistem na baze absorbtionnykh termotransformatorov / Galimova L.V.: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk. Astrakhan: Astrakhan. GTU, 2004, 32 p.

8. Christian Keil, Stefan Plura, Michael Radspieler, Christian Schweigler, Application of customized absorption heat pumps for utilization of low-grade heat sources, Applied Thermal Engineering, Volume 28, Issue 16, 2008, p. 2070–2076.

9. Absorbtsionnye teplovye nasosy na TETs Belorusskoy OES na primere Mozyrskoy TETs / V.N. Romanyuk, A.A. Bobich // Energiya i Menedzhment. 2015. No. 1. P. 13–20.

10. Obosnovanie parametrov ABTN dlya utilizatsii VER na TETs s pomoshchyu passivnogo eksperimenta i opredelenie sootvetstvuyushchikh izmeneniy razlichnykh otsenok raboty energosistemy / V.N. Romanyuk, A.A. Bobich // Energiya i Menedzhment. 2016. No. 1. P. 14–23.

11. Chislennoe issledovanie teplovykh skhem TETs s pomoshchyu ikh topologicheskikh modeley / V. N. Romanyuk, A. A. Bobich // Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy i energ. obedineniy SNG. 2016. Vol. 59, No. 4. P. 376–390.

#### **Authors of the publication**

**Radik N. Valiev** – Cand. Sci. (Techn.), Assoc. Cand. Sci. of department “Industrial Heat Power Engineering and system of heating supply” (IHPE) Kazan state power engineering university (KSPEU).

**Shamil G. Ziganshin** – Cand. Sci. (Techn.), Assoc. Cand. Sci. of department “Industrial Heat Power Engineering and system of heating supply” (IHPE) Kazan state power engineering university (KSPEU).

**Yury V. Vankov** – Dr. Sci. (Techn.), Prof. of department “Industrial Heat Power Engineering and system of heating supply” (IHPE) Kazan state power engineering university (KSPEU).

**Ranis R. Garipov** – Mag. Sci. (Techn.) of department “Industrial Heat Power Engineering and system of heating supply” (IHPE) Kazan state power engineering university (KSPEU).

**Поступила в редакцию**

**26 июня 2017 г.**