

УДК 621.536

**М.Н. ЧЕПУРНОЙ**, канд. техн. наук; проф. ВНТУ, Вінниця;  
**С.И. ТКАЧЕНКО**, д-р техн. наук; проф. ВНТУ, Вінниця;  
**Н.В. РЕЗИДЕНТ**, канд. техн. наук; доц. ВНТУ, Вінниця

### ГАЗОТУРБИНАЯ НАДСТРОЙКА ЭНЕРГОБЛОКОВ К-300-240

Предложена схема парогазовой установки на базе энергоблока с турбиной К-300-240 и определены показатели эффективности работы установки.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, парогазовая установка, энергоблок, условное топливо.

#### Введение

Общеизвестно, что более 90 % теплоэнергетического оборудования, установленного на тепловых электростанциях (ТЭС) Украины, давно исчерпало нормативный ресурс работы. Для реанимации отечественной энергетики требуются огромные капиталовложения (не менее миллиарда долларов США на тысячу мегаватт электрогенерирующих мощностей), которых в стране пока нет. Однако дальнейший подъем экономики Украины невозможен без наращивания электрических мощностей. Одним из приоритетных направлений считается модернизация существующего теплоэнергетического оборудования. Именно в теплоэнергетике существуют реальные возможности использования новых эффективных технологий за средства отечественных, а не иностранных инвесторов.

Использование газотурбинных установок (ГТУ) позволяет уменьшить удельные расходы топлива на выработку электроэнергии и снизить нагрузки паротурбинных установок (ПТУ) [1, 2]. Использование газотурбинных надстроек на ТЭС является наиболее простым и эффективным способом модернизации отечественной энергетики на данном этапе, тем более, что украинскими предприятиями газотурбостроения разработана концепция создания современных одновальных ГТУ мощностью от 60 до 160 МВт, работающих на природном и генераторном газе, а также на жидком топливе, включая мазут. Некоторые общие вопросы использования парогазовых установок (ПГУ) с надстройкой энергоблоков газовыми турбинами обсуждались в [3–6].

Принципиальные тепловые схемы ПГУ по способу газотурбинных надстроек можно разделить на две группы: сбросная (со сбросом отработанных в ГТУ газов в топку котлов); утилизационная (со сбросом дымовых газов после ГТУ в газовые подогреватели).

Реализация первой схемы связана с необходимостью реконструкции котла, замены горелок, дымососов и пр. Наконец, эта схема трудно реализуема для пылеугольных котлов при сжигании малореакционных топлив в среде, забалластированной продуктами сгорания ГТУ. Именно поэтому сбросная схема не получила распространения. Следует отметить также, что реализация этой схемы чаще всего исключает автономную работу энергоустановок.

Что касается утилизационных схем, то они отличаются наличием большого количества вариантов. По способу связи с основным энергоблоком схемы газотурбинных надстроек можно разделить на паровые, водяные и комбинированные. В паровых схемах теплота отработанных в ГТУ газов используется в котлах-утилизаторах, где генерируется пар одного или двух давлений, который направляется в соответствующие точки паротурбинного цикла. Анализ использования таких схем в [6]

© М.Н. Чепурной, С.И. Ткаченко, Н.В. Резидент, 2013

показал, что использование ГТУ в любой из этих схем повышает эффективность использования топлива. Вместе с тем, работа ПГУ по таким схемам обуславливает ряд эффектов, которые могут существенно препятствовать их реализации. В частности, возникает необходимость выполнения определенных методов регулирования температуры промежуточного перегрева пара, частичной замены вспомогательного оборудования и др.

Водяные схемы газотурбинных надстроек используются для уменьшения или вытеснения некоторых отборов пара из турбины на регенерацию за счет подогрева питательной воды отработанными в ГТУ дымовыми газами в газовых подогревателях (ГВП). В качестве ГВП могут использоваться газо-водяные котлы-утилизаторы серийно выпускаемые в ОАО «Таганрогский котлостроительный завод «Красный котельщик» [7]. В автономных ГВП питательная вода может быть подогрета до более высокой температуры, нежели в регенеративных подогревателях ПТУ. Повышение температуры питательной воды, как известно, ведет к снижению расхода топлива, сжигаемого в топке парового котла. Однако с уменьшением расхода топлива, объемов продуктов сгорания и скорости их движения в газоходах могут возникнуть эффекты, ограничивающие повышение температуры питательной воды. Анализ литературных источников показал, что одним из недостатков предлагаемых схем газотурбинных надстроек с ГВП является соединение газового и парового циклов в нескольких точках схемы. Кроме того, не выяснено, какое влияние в целом на показатели паровых котлов оказывает повышение температуры питательной воды, а также предельное значение последней для котлов разных типов и тепловых мощностей, которые эксплуатируются на существующих ТЭС.

В связи с вышеизложенным, были поставлены задачи: определить влияние повышенных температур питательной воды на основные показатели работы паровых котлов, работающих в составе энергоблоков К-300-240 на отечественных ТЭС; проанализировать и предложить схему газотурбинной надстройки с минимальным количеством связей между циклами ГТУ и ПТУ; подобрать необходимый типоразмер ГТУ для надстройки с указанным энергоблоком ПТУ; определить показатели эффективности работы созданной ПТУ.

### **Основные результаты**

В качестве исследуемого объекта принято основное оборудование Ладыжинской ТЭС: паровой котел ТПП-312А и паровая турбина К-300-240. Котел Таганрогского котельного завода имеет следующие характеристики: максимальная паропроизводительность 1000 т/час; давление и температура свежего пара 25 МПа и 545 °С, соответственно; давление и температура пара после промежуточного пароперегревателя 3,62 МПа и 545 °С; температура питательной воды 265 °С. Рабочее топливо – донецкий уголь Г с нижней теплотой сгорания 22 МДж/кг. Вариантные расчеты котла выполнялись в соответствии с нормативным методом [8] для постоянной производительности 935 т/час, наиболее характерной для практики эксплуатации энергоблоков на Ладыжинской ТЭС. При этом температура питательной воды варьировалась в пределах (260–360) °С. Результаты расчетов представлены на рис. 1–3.

На рис. 1 показаны текущие значения температуры горячего воздуха  $t_{гв}$  и температуры пара после промежуточного пароперегревателя  $t_{пп}$  в зависимости от температуры питательной воды  $t_{пв}$ . Из рис. 1 видно, что в интервале изменений  $t_{пв}$  от 260 до 320 °С практически обеспечивается нормативная температура промежуточного перегрева пара, которая резко снижается при дальнейшем повышении  $t_{пв}$ . Это

объясняется тем, что при неизменной нагрузке котла с повышением температуры питательной воды, уменьшается теплота необходимая для ее испарения, а следовательно, и расход топлива. Вследствие этого уменьшается расход воздуха и продуктов сгорания, а также тепловосприятие в газоходах котла в то время, как расход пара в промежуточном пароперегревателе остается постоянным.

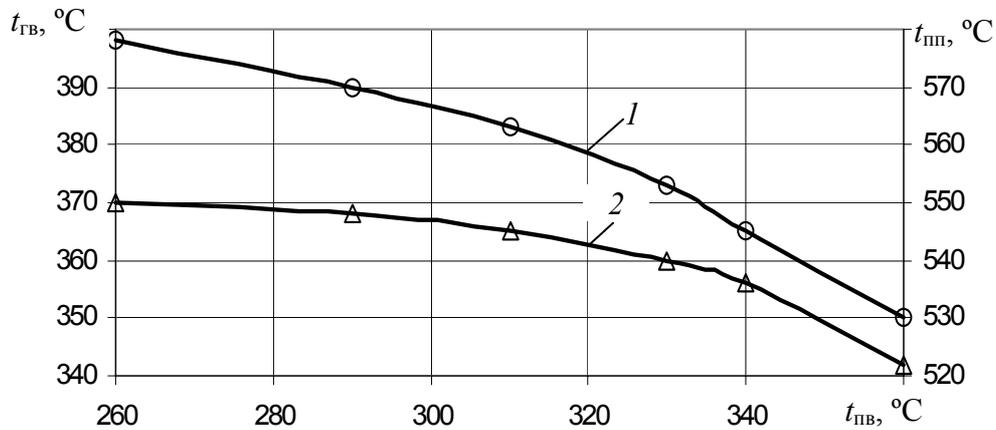


Рис. 1 –Изменение температуры горячего воздуха (кривая 1) и промежуточного перегрева пара (кривая 2)

Изменение температуры уходящих газов из котла  $t_{yx}$  и расходов рабочего топлива  $B$ , т/час показаны на рис. 2.

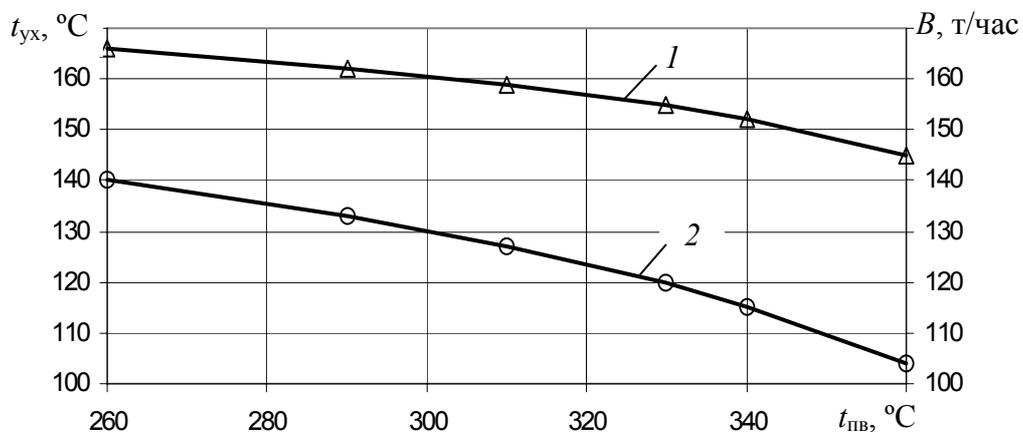


Рис. 2 – Текущие значения: 1 – температуры уходящих газов; 2 – расхода рабочего топлива

С одной стороны, снижение температуры уходящих газов обуславливает уменьшение потерь тепла с уходящими газами и повышение КПД котла  $\eta$  (см. рис. 3), а с другой – уменьшает температуру подогрева воздуха в воздухоподогревателе котла, что несколько снижает теплоту, вносимую в топку и нивелирует возрастание КПД.

Из рис. 3 видно, что основной прирост КПД котла происходит до значения  $t_{пв}$ , равного  $310^\circ\text{C}$ . В этом интервале температур поддерживаются нормативные параметры работы котла (см. рис. 1). Очевидно эту температуру питательной воды следует считать предельно допустимой для паровых котлов, работающих в составе энергоблоков К-300-240.

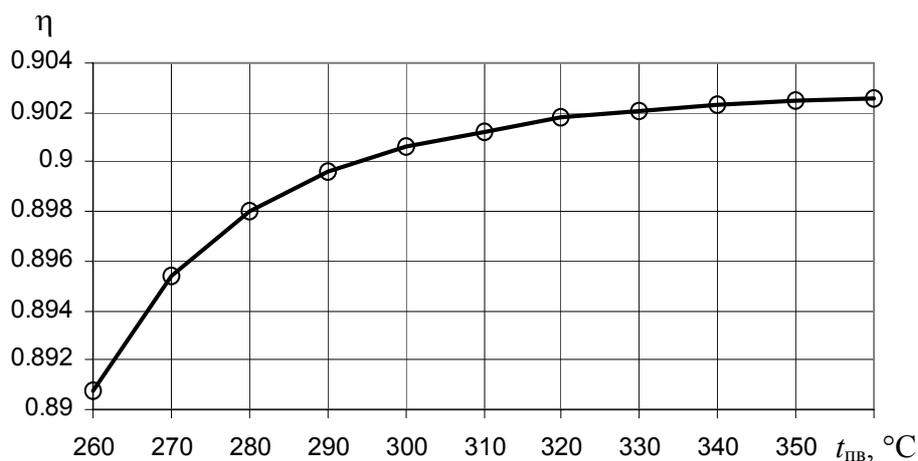


Рис. 3 – Влияние температуры питательной воды на КПД парового котла

В связи с этим предлагается такая схема ПГУ с газотурбинной надстройкой энергоблока К-300-240 Ладыжинской ТЭС, работающей по бездеаэрационной схеме подогрева питательной воды (рис. 4). Поток питательной воды с расходом  $G$  после смешивающих подогревателей низкого давления П9 и П8 распределяется на два потока. Первый (основной) поток с расходом  $G_1$  последовательно подогревается в паровых подогревателях низкого давления П7–П4. Второй поток с расходом  $G_2 = G - G_1$  после подогревателя П8 направляется в газовый подогреватель воды ГВП-2, где подогревается отработанными в ГТУ газами до температуры 184 °С, после чего смешивается с основным потоком перед турбопитательным насосом. За питательным насосом поток воды вновь разветвляется на два потока. Первый поток с расходом  $G_1$  подогревается в паровых подогревателях высокого давления П3–П1 до 265 °С. Второй поток с расходом  $G_2$  отводится в газовый подогреватель ГВП-1, где подогревается газами из ГТУ до температуры, которая превышает температуру питательной воды. Оба потока смешиваются за подогревателем П1 и поступают в экономайзер парового котла.

Для реализации предложенной схемы требуется: во-первых, правильно подобрать типоразмеры ГТУ с необходимой тепловой мощностью и температурой отработанных газов и, во-вторых, правильно распределить потоки питательной воды с тем, чтобы ее температура на входе в экономайзер котла не превышала допустимого значения. Для надстройки рассматривались два типоразмера ГТУ: ГТД-110 и ГТ-160. Предварительные расчеты показали, что в случае использования ГТ-160 мощность отработанных газов, а, следовательно, и электрическая мощность ГТУ могут быть использованы только на (65–70) %, что снижает показатели эффективности ее работы. Поэтому для надстройки принята ГТД-110, которая по данным испытаний [8] имеет такие характеристики: электрическая мощность – 100,3 МВт, расход воздуха – 365,5 кг/с, степень повышения давления в компрессоре – 14,72; температура газов перед и за турбиной – 1170 и 490 °С, соответственно; ККД на клеммах электрогенератора – 0,34. Данная ГТУ способна работать как на газообразном топливе, так и на жидком, включая мазут.

Расчеты тепловой схемы ПГУ показали, что расход питательной воды в байпасной линии  $G_2$  должен составлять не менее 33 % общего расхода. При этом условии обеспечивается допустимая температура питательной воды на входе в экономайзер. Некоторые результаты расчетов (расходов и температур) показаны на

рис. 4. Результаты основных показателей энергоблока К-300-240, работающего по существующей тепловой схеме ТЭС и с газотурбинной надстройкой приведены в таблице, где экономия условного топлива рассчитывалась для годового времени работы, равного 7200 часов.

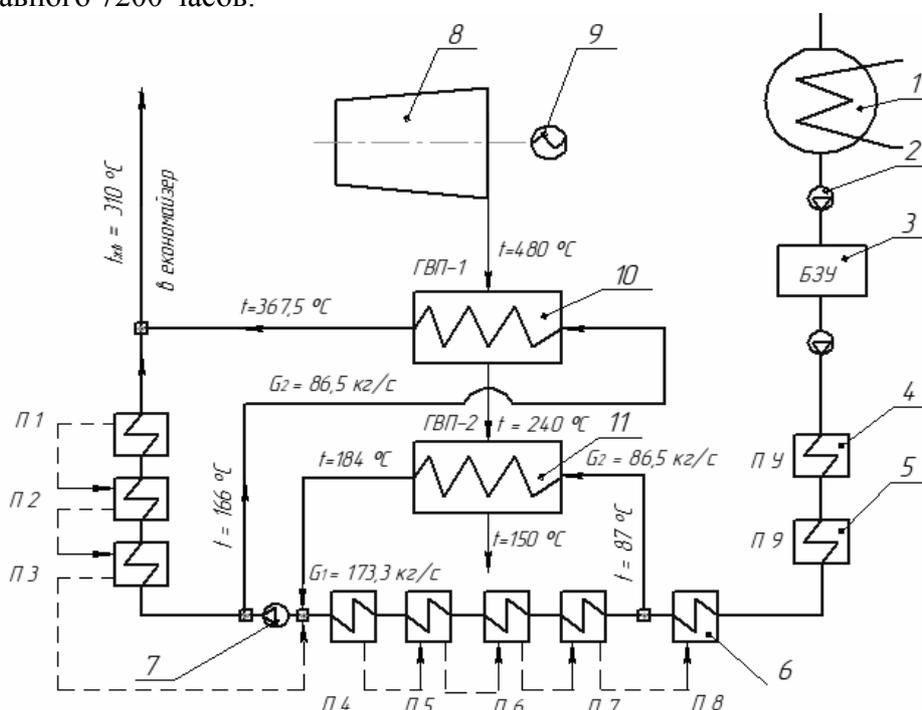


Рис. 4 – Тепловая схема энергоблока К-300-240 с газотурбинной надстройкой.

1 – конденсатор паровой турбины; 2 – конденсатный насос; 3 – быстродействующая обессоливающая установка; 4 – подогреватель уплотнений; 5, 6 – смешительные подогреватели; 7 – питательный насос; 8 – газовая турбина; 9 – электрогенератор; 10, 11 – газодлянные подогреватели питательной воды; П3–П1 – подогреватели высокого давления ПТУ; П7–П4 – паровые подогреватели низкого давления

Таблица

Показатели работы ПТУ и ПГУ

Показатели	Тип энергоблока	
	ПТУ: К-300-240	ПГУ: К-300-240 + ГТД-110
Электрическая мощность, МВт	300	400
Расход пара на турбину, т/час	935,2	884,4
Температура уходящих газов из котла, °С	166	158
Коэффициент полезного действия котла, нетто	0,896	0,906
Расход условного топлива, т/час	112,32	117,67
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, кг/(кВт·час)	0,37	0,295
Коэффициент полезного действия нетто	0,328	0,418
Прирост КПД за счет надстройки, %	–	9
Годовая экономия условного топлива по сравнению с производством дополнительной электрической мощности в ПТУ, т/год	–	57960

Из приведенной таблицы наглядно видно, какие преимущества дает газотурбинная надстройка энергоблоков К-300-240 по предлагаемой схеме с двухпоточным подогревом питательной воды. Отметим также, что применение газотурбинных надстроек данного типа не требует принципиальных изменений в паровой схеме ПТУ, конструктивных изменений в паровом котле, обеспечивает автономную работу паротурбинного и газотурбинного энергоблоков, но требует дополнительного помещения для размещения ГТУ.

### **Выводы**

Применение газотурбинных надстроек на конденсационных энергоблоках с двухпоточным подогревом питательной воды позволяет увеличить выработку электроэнергии на 30 %, снизить расходы топлива на паротурбинном энергоблоке, повысить КПД комбинированной установки на 9 %, снизить расходы электроэнергии на собственные нужды за счет разгрузки систем топливоподачи, топливоподготовки, золо- и шлакоудаления, а также тягодутьевых установок.

**Список литературы:** 1. Ковецкий, В.М. Об основных направлениях модернизации и реконструкции энергоблоков ТЭС Украины [Текст] / В.М. Ковецкий, А.М. Пovyсоцкий, А.А. Шрайбер // Проблемы загальної енергетики, 2000. – № 3. – С. 16-25. 2. Державна програма реконструкції теплових електростанцій України [Текст] // ДНД ПВТУ «Енергоперспектива». – К., 2001. – 116 с. 3. Липец, А.У. Газотурбинные установки со сбросом дымовых газов в РВП парового котла [Текст] / А.У. Липец, Л.В. Дирина // Энергетик. – 2004. – № 11. – С. 12-14. 4. Беркнев, В.С. Возможный способ повышения мощности и экономичности комбинированных установок с газовыми турбинами [Текст] / В.С. Беркнев, В.Л. Иванов, В.А. Фомин // Теплоэнергетика. – 2005. – № 6. – С. 43-47. 5. Иванов, В.Л. О возможности надстройки энергоблоков газотурбинными установками [Текст] / В.Л. Иванов, А.В. Клевцов, А.В. Корягин // Энергосбережение и водоподготовка, 2005. – № 3. – С. 43-45. 6. Ольховський, Г.Г. Модернізація енергетических блоків путем їх надстройки газовими турбинами [Текст] / Г.Г. Ольховський, Н.С. Чернецкий, П.А. Березинец // Електрические станции. – 1997 – № 4. – С. 9-18. 7. Резник, Н.И. Котлы-утилизаторы АОА «Красный котельщик» для парогазовых и газотурбинных установок [Текст] / Н.И. Резник, В.В. Иваненко // Теплоэнергетика. – 2003. – № 11. – С. 51-53. 8. Лившиц, И.М. Об использовании возможностей отечественного машиностроения для внедрения парогазовых и газотурбинных технологий в теплоэнергетику [Текст] / И.М. Лившиц, В.А. Полищук // Энергетик. – 2005. – № 6. – С. 3-5.

*Поступила в редколлегию 07.01.13*

УДК 621.536

**Газотурбинная надстройка энергоблоков К-300-240** [Текст] / М.Н. Чепурной, С.И. Ткаченко, Н.В. Резидент // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 12(986). – С. 63-68. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2078-774X.

Запропонована схема парогазової установки на базі енергоблока з турбіною К-300-240 і визначені показники ефективності роботи установки.

**Ключові слова:** газотурбінна установка, парогазова установка, енергоблок, умовне паливо.

Scheme of steam and gas installation on base energy plant with turbine K-300-240 are proposed and indicators efficiency of work are determined.

**Keywords:** gas-turbine plant, steam-gas plant, energy plant, conventional fuel.