

вызвать панель управления выключателем генератора, нажать кнопку «Вкл» и АСУТП ЭТО включит генератор в работу.

Технико-экономический эффект от внедрения АСУТП ЭТО складывается из:

- повышения надежности работы энергоблока в результате уменьшения числа аварий как из-за отказов оборудования, так и по вине оперативного персонала, сокращения длительности аварийных простоев и увеличения времени использования установленной мощности;

- увеличения срока службы основного оборудования энергоблока благодаря своевременной диагностике его состояния;

- повышения экономичности работы энергоблока за счет снижения эксплуатационных затрат на обслуживание электрооборудования энергоблока.

АСУТП ЭТО эксплуатируется с 2004 г.

ВЫВОД

Предложенная автоматизированная система контроля и управления электрооборудованием энергоблоков электростанций, выполненная на базе технических средств и программных продуктов современной информационной технологии, может быть использована как для модернизации систем контроля и управления на действующих электрических станциях, так и на вновь строящихся.

Поступила 1.09.2006

УДК 621.433

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Инж. ПАНТЕЛЕЙ Н. В.

Белорусский национальный технический университет

Ряд жизненно важных технологических продуктов, таких как азот, углекислота, вода, электрическая, тепловая и хладоэнергия, в большинстве случаев производится по отдельным технологиям, что удорожает их вследствие больших энергозатрат, а также приводит попутно к загрязнению атмосферы продуктами сжигания органических топлив. Анализ показал, что перечисленные выше продукты могут производиться одной комбинированной энерготехнологической установкой, названной далее автором как ЭТУ-1 (рис. 1).

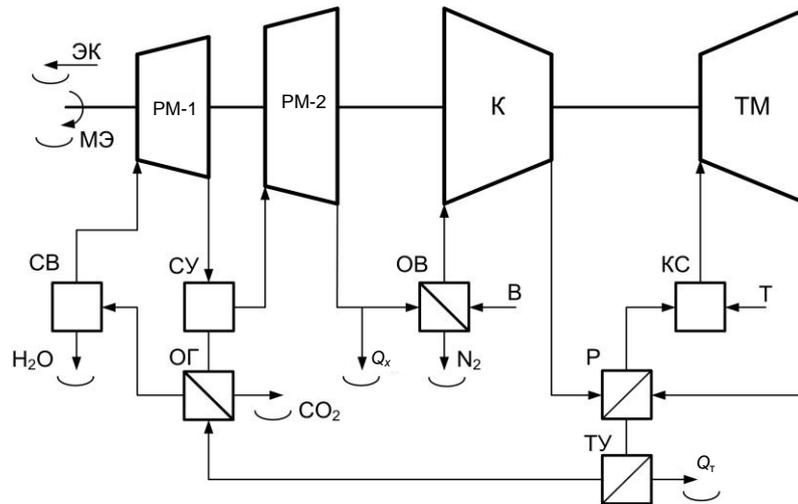


Рис. 1. Рабочая (расчетная) тепловая схема ЭТУ-1: ТМ – тепловая расширительная машина (газовая турбина); К – компрессор воздушный; РМ1 – расширительная холодильная машина № 1 (турбодетандер № 1); РМ2 – то же № 2 (турбодетандер № 2); КС – камера сгорания; Р – регенератор; ТУ – теплофикационная установка; ОГ – охладитель газов; СВ – сепаратор воды; СУ – сепаратор углекислоты; ОВ – охладитель воздуха; Q_T – тепловая энергия (первый технологический продукт – ТП-1); H_2O – вода (второй технологический продукт – ТП-2); CO_2 – углекислота (третий технологический продукт – ТП-3); Q_x – холодоэнергия (четвертый технологический продукт – ТП-4); N_2 – азот (пятый технологический продукт – ТП-5); МЭ – механическая энергия (шестой технологический продукт – ТП-6); ЭК – экологический эффект (седьмой технологический продукт – ТП-7); В – воздух; Т – топливо

Комбинированная энерготехнологическая установка ЭТУ-1 работает следующим образом. Воздух перед сжатием в компрессоре предварительно охлаждается до температуры минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в охладителе воздуха. Такое глубокое охлаждение воздуха продиктовано необходимостью уменьшения работы сжатия компрессора, а также понижения температуры сжатого воздуха за компрессором. Понижение температуры воздуха с $+20$ до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшает работу сжатия в компрессоре в 1,5 раза. Понижение температуры сжатого воздуха за компрессором, увеличивая степень регенерации в регенераторе, позволяет значительную часть тепловой энергии отработавших в ТМ газов вернуть в технологический цикл установки. Росту степени регенерации в регенераторе способствует и повышенный уровень температур газов за ТМ, что обусловлено расширением рабочего тела (РТ) ТМ до разделительного давления выше атмосферного. Пониженный уровень температур воздуха на входе в регенератор попутно решает и еще одну задачу: углубления охлаждения РТ по ходу технологического процесса ЭТУ-1, что положено в основу ее работы. Дальнейшее понижение температуры РТ осуществляется в теплофикационной установке путем съема тепловой энергии Q_T для нужд теплового потребителя, что обеспечивает выработку первого технологического продукта (ТП-1) в схеме установки воды. Температура РТ за ТУ определяется температурой теплоносителя, подаваемого на его охлаждение, и может изменяться в общем случае в широких пределах. Поэтому для получения ТП-2 (воды) в схеме предусмотрены охладитель газов и сепаратор воды. Вывод воды из состава РТ перед его расширением в РМ1 является обязательным условием обеспечения надеж-

ности работы последней. Это связано с необходимостью получения температуры РТ за РМ-1 на уровне температуры сублимации углекислоты (-57°C). Присутствие воды в рабочем теле РМ-1 неизбежно приведет к ее вымораживанию, что может стать причиной нарушения работоспособности РМ-1. При охлаждении теплофикационной установки обратной сетевой водой

с ее температурами, соответствующими стандартному температурному графику $150/70^{\circ}\text{C}$, необходимость в использовании СВ отпадает, так как в ТУ рабочее тело охладится ниже точки росы и воду из состава РТ можно вывести непосредственно из ТУ. В таком случае сепаратор воды может применяться для углубленной осушки рабочего тела перед РМ-1.

Особо следует подчеркнуть функциональное назначение охладителя газов (ОГ). Данный теплообменник предназначен для обеспечения требуемого уровня температуры рабочего тела перед РМ-1. А этот уровень, в свою очередь, продиктован получением за РМ-1 температуры РТ, обеспечивающей сублимирование углекислоты, которая затем отделяется от рабочего тела в сепараторе углекислоты (СУ). Для доохлаждения РТ в охладителе газов используется незначительная часть производимой в технологической схеме ЭТУ-1 хладоэнергии, например содержащейся в той же углекислоте или азоте, которая является ТП-3.

После выделения из рабочего тела углекислоты в его составе преобладает азот, который, расширяясь до конечного давления в РМ-2, охлаждается до температуры порядка -125°C . Это основной поток четвертого технологического продукта, производимого в технологической схеме ЭТУ-1 – ТП-4 или Q_x (хладоэнергии). Сам же азот является пятым технологическим продуктом – ТП-5.

Совершаемая полезная работа расширяющимся РТ ЭТУ-1 в ТМ, РМ-1 и РМ-2 за вычетом работы сжатия воздуха в компрессоре является шестым технологическим продуктом установки – ТП-6 (механическая энергия), которая может быть использована для силовых нужд, например для привода электрогенератора ТЭС.

Так как технологический процесс ЭТУ-1 практически являет собой безотходную технологию, очевидно, появляется седьмой технологический продукт – ТП-7 (экологический эффект). Он обусловлен исключением выброса загрязняющих атмосферу продуктов, например той же углекислоты, способствующей развитию парникового эффекта. Тепловая электрическая станция в идеале без дымовой трубы становится в обозримой перспективе реальностью. Отпадает необходимость в Киотском протоколе и связанных с ним трудно выполнимых процедурах (торговля квотами на выбросы и т. п.). Основу таких ТЭС могут составить комбинированные энерготехнологические установки нового поколения типа ЭТУ.

Работоспособность ЭТУ определяется сочетанием комплекса основных ее параметров. Ими являются, прежде всего, мощность энергоустановки, которая представляет собой алгебраическую сумму мощностей входящих в нее машин: газовой турбины $N^{ГТ}$, компрессора $N^К$ и турбодетандера $N^{ТД}$. То есть мощность ЭТУ может быть определена как $N^{ЭТУ} = N^{ГТ} - N^К + N^{ТД}$.

Важнейшим условием работоспособности ЭТУ-1 должно быть значение $N^{\text{ЭТУ}}$ больше нуля в рассматриваемом диапазоне изменения ее основных характеристик. Выполненная серия расчетных исследований для начальной температуры рабочего тела перед газовой турбиной $t_{\text{н}}^{\text{ГТ}} = 1300\text{--}1500$ °С в диапазоне величин начального давления перед ней $p_{\text{н}}^{\text{ГТ}} = 15\text{--}30$ бар и трех значений величин разделительного давления между турбиной и турбодетандером $p_{\text{р}} = 10; 8$ и 7 бар подтвердила работоспособность ЭТУ в данном диапазоне изменения ее параметров. Результаты этих расчетов для начальной температуры рабочего тела перед газовой турбиной $t_{\text{н}}^{\text{ГТ}} = 1400$ °С в диапазоне величин начального давления перед ней $p_{\text{н}}^{\text{ГТ}} = 15\text{--}30$ бар и трех значений величин разделительного давления между турбиной и турбодетандером $p_{\text{р}} = 10, 8$ и 7 бар сведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные критерии работоспособности ЭТУ-1 (для КПД элементов 85 %)

Мощность, МВт	$p_{\text{р}} = 10$ бар				$p_{\text{р}} = 8$ бар				$p_{\text{р}} = 7$ бар			
	Начальное давление, бар				Начальное давление, бар				Начальное давление, бар			
	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
$N^{\text{ГТ}}$	14,6	24,3	31,4	36,9	22,1	31,4	38,2	43,5	26,5	35,5	42,1	47,3
$N^{\text{К}}$	30,5	35,3	39,3	42,8	30,5	35,3	39,3	42,8	30,5	35,3	39,3	42,8
$N^{\text{ГД-1}}$	3,59	3,6	3,61	3,62	2,29	2,3	2,31	2,31	1,54	1,54	1,55	1,55
$N^{\text{ГД-2}}$	6,96	6,98	6,99	7,01	6,98	6,99	7,01	7,02	6,98	7,01	7,02	7,03
$N^{\text{ЭТУ}}$	-5,3	-0,5	2,65	4,77	0,92	5,36	8,15	10	4,53	8,7	11,3	13

Вторым важнейшим критерием работоспособности ЭТУ являются значения температур ее рабочего тела в узловых точках тепловой схемы. Такими узловыми точками определены выхлопы газовой турбины, компрессора и турбодетандера и соответственно температура ПСТ за газовой турбиной $t_{\text{к}}^{\text{ГТ}}$ (рис. 2), компрессором $t_{\text{к}}^{\text{К}}$ (рис. 3) и турбодетандером $t_{\text{к}}^{\text{ГД}}$ (рис. 4).

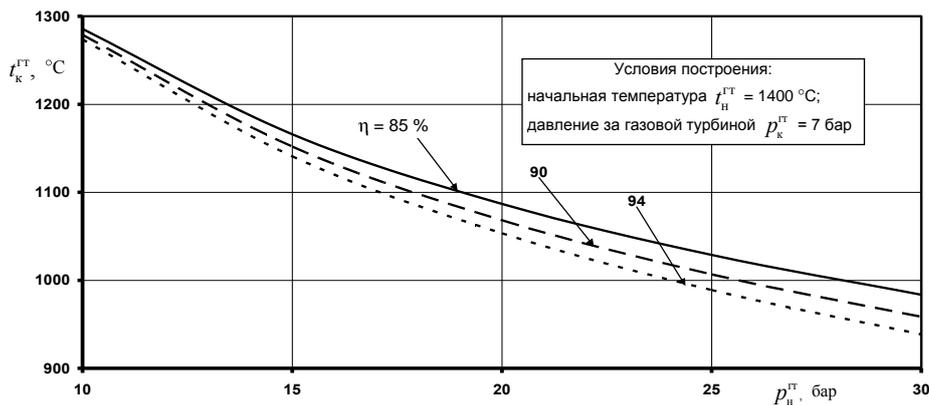


Рис. 2. Зависимость температуры рабочего тела за газовой турбиной ЭТУ-1 от начального давления перед ней для назначенных значений начальной температуры цикла, разделительного давления и КПД машин (ГТ, ТД, К)

Значения $t_{\text{к}}^{\text{ГТ}}$ и $t_{\text{к}}^{\text{К}}$ подтверждают также возможность выполнения высокоэффективной регенерации в цикле установки. Причем такой регенеративный подогрев воздуха позволяет не только вернуть в цикл значительную величину тепловой энергии отработавших в турбине газов, но и существенно их охладить после регенератора. Уровень температур газов за регенератором будет определяться значением температуры $t_{\text{к}}^{\text{К}}$ и величиной температурного напора в регенераторе, которая в первом приближении принималась на уровне 15 °С. Тем не менее для обеспечения работоспособности ЭТУ необходимо доохлаждение газов до уровня, требуемого по условиям значений перед турбодетандером (рис. 5).

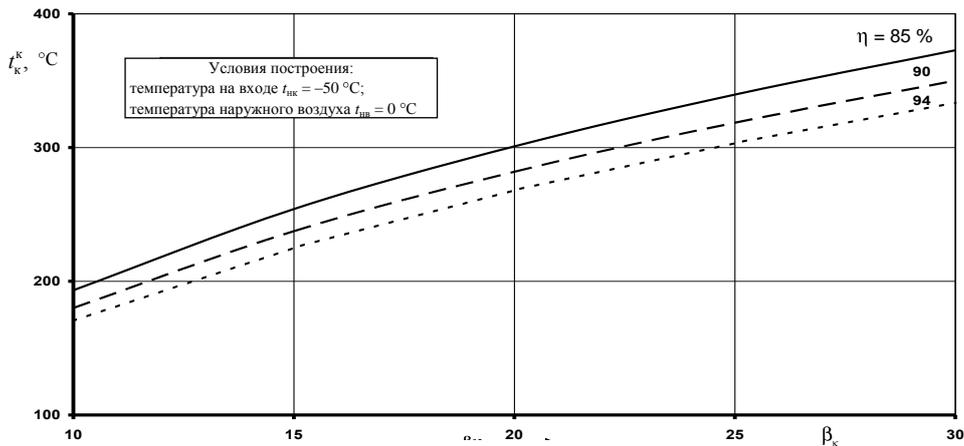


Рис. 3. Зависимость температуры воздуха за компрессором от степени повышения давления в нем

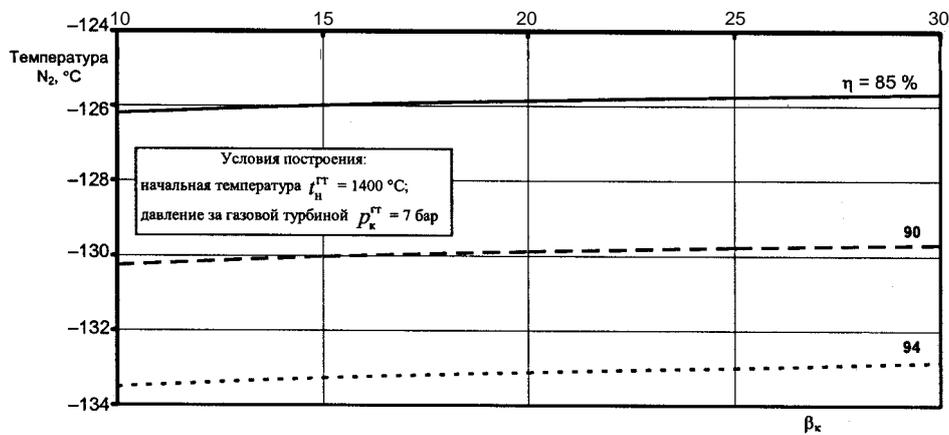


Рис. 4. Зависимость температуры выделяющегося азота в цикле ЭТУ-1 от степени повышения давления в компрессоре для назначенных величин начальной температуры цикла $t_{\text{н}}^{\text{ГТ}}$, разделительного давления $p_{\text{к}}^{\text{ГТ}}$ и КПД машин (ГТ, ТД, К)

Такое доохлаждение газов осуществляется в теплофикационной установке, например путем подогрева в ней сетевой воды. Окончательное (регулируемое) доохлаждение газов перед турбодетандером производится

в газоохладителе, для чего в качестве хладагента используется покидающий турбодетандер первичный азот. Уровня его температуры и количества достаточно для окончательного доохлаждения газов на входе в турбодетандер.

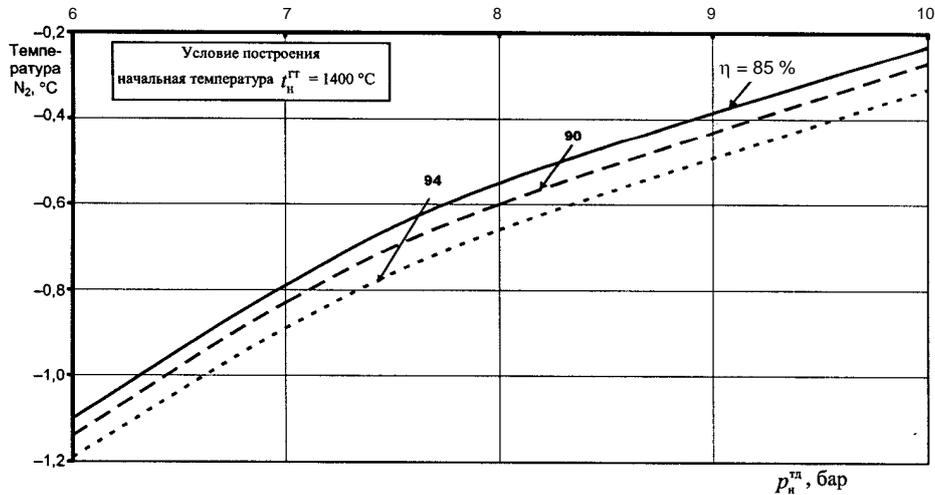


Рис. 5. Зависимость температуры азота, необходимого для доохлаждения газов перед турбодетандером, от начального давления перед ним для назначенных величин начальной температуры цикла t_n^{tr} , разделительного давления p_k^{tr} и КПД машин (ГТ, ТД, К)

Анализ значений температур остаточного рабочего тела, покидающего ТД (азота), не оставляет сомнений в том, что часть его хладознергии может быть использована для охлаждения воздуха (вторичный азот) перед компрессором. Это необходимо для уменьшения работы сжатия в компрессоре, а также для повышения степени регенерации цикла ЭТУ. Кроме того, низкие значения температур рабочего тела за ТД определяют необходимость конструктивного разделения ТД на две части. Это продиктовано необходимостью отделения сублимированной углекислоты (CO_2) после первой ступени расширения рабочего тела в ТД. Суть такого разделения заключается в том, что если CO_2 в твердом состоянии не отделить от расширяющегося в ТД рабочего тела, то работоспособность данной машины ставится под сомнение. Ее проточная часть будет заноситься твердыми фракциями CO_2 , что приведет к разрушению ТД.

Приведенные выше результаты подтверждают основные критерии работоспособности ЭТУ-1 в рассмотренном диапазоне изменения ее параметров. Тем самым показана возможность создания энергоустановки, работающей по безотходной технологии.

ВЫВОД

Предложен новый способ комбинированного производства ряда технологических продуктов (азот, углекислота, вода, электрическая, тепловая и хладознергия) с помощью комбинированной энерготехнологической установки ЭТУ. Изложен принцип ее работы, а также приведены критерии работоспособности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некоторые теоретические предпосылки совершенствования энергетических установок / В. К. Балабанович [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: Реф. докл. 56-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: УП «Технопринт», 2003.
2. Пантелей, Н. В. Комбинированная энерготехнологическая установка ЭТУ-1 и ее основные характеристики / Н. В. Пантелей // Тез. докл. науч.-техн. конф. студ. и асп. БНТУ. – Минск: БНТУ, 2003. – С. 67–68.
3. Пантелей, Н. В. Комбинированное производство технологических продуктов энерготехнологической установкой ЭТУ-3 / Н. В. Пантелей, Е. А. Пантелей, Е. В. Кулак // Тез. докл. науч.-техн. конф. студ. и асп. БНТУ. – Минск: БНТУ, 2003. – С. 70–73.
4. Пантелей, Н. В. Некоторые вопросы технико-экономической эффективности применения энергосберегающих технологий в энергетике / Н. В. Пантелей, Е. А. Пантелей // Материалы 54-й Междунар. науч.-техн. конф. проф., преп., науч. работников, асп. и студ. БГПА. – Минск: БГПА, 2000.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 20.10.2006

УДК 621.1

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ ПАРОТУРБИННОГО ГЕНЕРАТОРА В ТЕПЛОВУЮ СХЕМУ МАЛЫХ И СРЕДНИХ КОТЕЛЬНЫХ

Докт. техн. наук, проф. ЕСЪМАН Р. И., канд. техн. наук, доц. ЯРМОЛЬЧИК Ю. П.

Белорусский национальный технический университет

РЫМАШЕВСКИЙ Ю. В.

РУП «Энергетическая стратегия»

МОРОЗ Г. В.

РУП «БелНИПИэнергопром»

В предшествующие 20–25 лет в условиях технического прогресса крупных тепловых электростанций, развития ядерной энергетики и низкой стоимости топлива мелкие ТЭЦ потеряли свою конкурентоспособность, и их строительство было прекращено, хотя попытки обосновать их энергосберегающую эффективность предпринимались в начале 1980-х гг. В настоящее время, когда строительство крупных тепловых электростанций сталкивается с серьезными социальными, экологическими и инвестиционными трудностями, когда прежняя идеология развития крупной теплофикации оказывается технически и экономически проблематичной, а стоимость органического топлива приблизилась к мировым ценам, рентабельными во многих случаях становятся малые ТЭЦ, о чем свидетельствуют обоснования их эффективности в условиях рыночной экономики. К тому же малые ТЭЦ претерпевают существенное техническое изменение в части повышения экономичности и качества основного оборудования, снижения его материалоемкости, автоматизации управления технологическими процессами, применения блочного монтажа оборудования и др. Их