

УДК 621.438

## ГЛУБОКАЯ РАЗГРУЗКА ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК DEEP UNLOADING OF STEAM-AND-GAS POWER UNITS

Качан С.А., к-т. техн. наук, доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

S. Kachan, Ph.D., Associate Professor,

Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Аннотация. Рассматриваются возможности разгрузки парогазовых установок утилизационного типа ниже технического минимума.*

*Приведены значения показателей тепловой экономичности: КПД и удельного расхода условного топлива в зависимости от нагрузки.*

*Рассчитаны экономия (перерасходы) топлива на режимах глубокой разгрузки в сравнении с принудительной разгрузкой теплоэлектроцентралей и атомной электростанции.*

*Abstract. Possibilities of unloading of the steam-and-gas power units of utilization type below the technical minimum are considered.*

*The values of the indicators of thermal efficiency: efficiency and specific consumption of equivalent fuel, depending on the load are given. Savings (overconsumptions) of equivalent fuel are calculated for deep unloading modes in comparison with forced unloading of combined heat and power plants and nuclear power plants.*

*Ключевые слова: парогазовые установки, технический минимум, глубокая разгрузка, тепловая экономичность, экономия и перерасходы условного топлива.*

*Key words: combined cycle units, technical minimum, deep unloading, thermal efficiency, economy and excessive consumption of equivalent fuel.*

### ВВЕДЕНИЕ

Ввод в эксплуатацию двух энергоблоков Белорусской АЭС суммарной мощностью порядка четверти потребной выработки электроэнергии энергосистемы страны потребует перевода в полупиковую и даже пиковую зону графика нагрузок генерирующих энергоустановок, работающих на органическом топливе. В их числе – высокоэкономичные парогазовые установки (ПГУ) с трехконтурными котлами-утилизаторами и промежуточным перегревом пара.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Глубина разгрузки утилизационных ПГУ ограничивается необходимостью обеспечения приемлемых показателей надежности и экономичности, а также, экологических характеристик этих установок. Компании-производители современных энергетических газотурбинных установок (ГТУ), которые являются базовым элементом ПГУ утилизационного типа, добились более низкой величины технического минимума: порядка 40...45 % номинальной мощности, чем

ГТУ прошлых поколений: около 55...70 %. Это определяет бóльшую глубину разгрузки ПГУ, достигаемую без существенного ухудшения их экологических характеристик.

Еще бóльшая разгрузка ПГУ возможна за счет специальных мероприятий по дополнительному снижению нагрузки ГТУ:

– углубление регулирования расхода воздуха с помощью поворотных лопаток входного направляющего аппарата (ВНА) компрессора;

– подогрев воздуха перед компрессором сбросом сжатого воздуха на вход компрессора или за счет использования антиобледенительной системы (АОС).

Дополнительное снижение мощности ПГУ возможно за счет разгрузки паровой турбины при помощи быстродействующих редуционно-охладительных установок (БРОУ) или ухудшения вакуума в конденсаторе.

В зависимости от температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  данные мероприятия позволяют углубить разгрузку ПГУ до 25...35 % номинальной мощности [1].

Сравним экономичность различных способов снижения нагрузки ПГУ-427 МВт Лукомльской ГРЭС, построенной на основе ГТУ типа SGT5-4000F компании Siemens. На рисунке 1 приведены показатели тепловой экономичности: КПД производства электроэнергии  $\eta_3$  и удельный расход условного топлива  $b_3$  (УРТ), в зависимости от нагрузки ПГУ-427 по данным исследований, проведенных на Лукомльской ГРЭС [2].

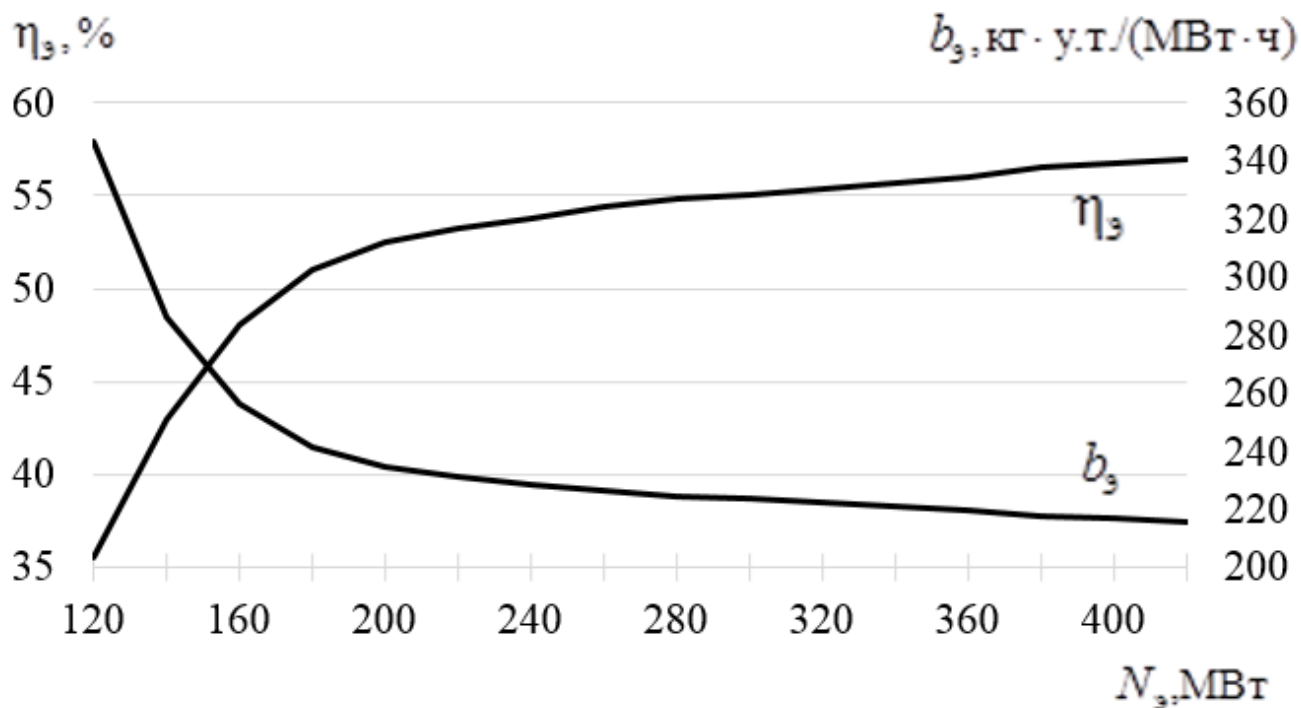


Рисунок 1 – Показатели тепловой экономичности разгрузки ПГУ-427

Как видно, разгрузка ПГУ-427 вдвое от номинальной мощности до технического минимума  $N_{\text{т.м}} = 180$  МВт за счет ВНА ГТУ приводит к уменьшению КПД ПГУ примерно на 10 % с  $\eta_{\text{ном}} = 57$  % до  $\eta_{\text{т.м.}} = 51$  %. Разгрузка за счет АОС

позволяет снизить мощность от  $N_{т.м} = 180$  МВт до  $N_p = 150$  МВт на  $\Delta N_p = 30$  МВт (~7 %) ценой снижения КПД с  $\eta_{т.м.} = 51$  % до  $\eta_p = 45$  %, то есть примерно на 10 %. При этом разгрузка на те же  $\Delta N_p = 30$  МВт со 150 МВт до 120 МВт за счет разгрузки паровой турбины при помощи БРОУ приводит к более резкому снижению КПД с  $\eta_p = 45$  % до  $\eta_{г.р.} = 35,5$  %, то есть примерно на 20 %.

Экономии денежных затрат в сравнении с принудительной разгрузкой теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) можно оценить по формуле:

$$\Delta Z_{ТЭЦ} = (\Delta N_p (b_{т.м.} - b_{тф}) - (N_{т.м.} - \Delta N_p) \Delta b_p) \tau_{раз} \Pi_{т.} \quad (1)$$

где  $b_{тф} \approx 160$  кг у.т./(МВт·ч) – УРТ на теплофикационную выработку электроэнергии на ТЭЦ;

$\Delta b_p$  – увеличение УРТ на ПГУ при ее разгрузке на величину  $\Delta N_p$ ;

$\tau_{раз}$  – длительность режимов глубокой разгрузки блока ПГУ в течение года;

$\Pi_{т.}$  – цена органического топлива (в пересчете на условное).

Еще бóльшая экономия затрат обеспечивается, если в альтернативном варианте прохождения провалов графиков электрических нагрузок энергосистемы предусматривается снижение мощности атомной электростанции (АЭС):

$$\Delta Z_{АЭС} = (\Delta N_p (b_{т.м.} \Pi_{т.} - b_{АЭС} \Pi_{ят}) - (N_{т.м.} - \Delta N_p) \Delta b_p \Pi_{т.}) \tau_{пр} \quad (2)$$

где  $b_{АЭС}$ ,  $\Pi_{ят}$  – удельный расход условного топлива на АЭС;

$\Pi_{ят}$  – цена ядерного топлива (в пересчете на условное).

Результаты расчетов экономии (или перерасходов) топлива при работе энергоблока ПГУ в режиме глубокой разгрузки по (1) и (2) приведены в таблице. В расчетах принято  $b_{АЭС} = 360$  кг у.т./(МВт·ч),  $\Pi_{ят} = 20$  долл/т у.т.,  $\Pi_{т.} = 180$  долл/т у.т.

Таблица 1 – Экономия (перерасходы) топлива на режимах глубокой разгрузки ПГУ

Показатель, размерность	Глубина разгрузки блока $N_{ПГУ}$		
	180 МВт	150 МВт	120 МВт
КПД ПГУ, %	51	45	35,5
УРТ, кг у.т./(МВт·ч)	240	275	345
Увеличение УРТ, кг у.т./(МВт·ч)	25	35	70
$\Delta Z_{ТЭЦ}$ , тыс. долл/год	2885	-415,5	-1380
$\Delta Z_{АЭС}$ , тыс. долл/год	14877	840,1	25,7

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно, разгрузка до  $N_{т.м} = 180$  МВт за счет прикрытия ВНА компрессора ГТУ является более предпочтительной в сравнении с принудительной разгрузкой ТЭЦ. Разгрузка ПГУ ниже  $N_{т.м} = 180$  МВт при полностью закрытом

ВНА компрессора ГТУ, и в особенности разгрузка паровой турбины при помощи БРОУ, приводит к резкому увеличению удельного расхода условного топлива на отпуск электроэнергии. Такая разгрузка может быть принята при исчерпании возможностей в энергосистеме по разгрузке остального оборудования. Тем не менее, глубокая разгрузка является предпочтительнее разгрузки АЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теплов Б.Д. Исследование регулировочного диапазона трехконтурных конденсационных ПГУ с котлами-утилизаторами и разработка методов его расширения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2017. – 20 с.

2. Протокол испытаний по определению глубины разгрузки ПГУ-427 МВт Лукомльской ГРЭС. – ОАО «Белэнергоремналадка». – Минск, 2016. – 23 с.