

УДК 621.438

А.А. КУДИНОВ

С.П. ГОРЛАНОВ

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ПУТЕМ ВПРЫСКА ВОДЯНОГО ПАРА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НК-37

EFFICIENCY INCREASE OF GAS-TURBINE INSTALLATION BY INJECTION OF WATER VAPOR IN THE NK-37 ENGINE COMBUSTION CHAMBER

*Выполнен анализ работы газотурбинной установки ГТУ-25 на базе авиационного двигателя НК-37 при впрыске водяного пара в камеру сгорания, описаны преимущества и ограничения этого способа, приведены графические зависимости основных показателей эффективности работы газотурбинной установки от расхода впрыскиваемого водяного пара в камеру сгорания.*

**Ключевые слова:** установка газотурбинная, впрыск, водяной пар, камера сгорания, коэффициент полезного действия, эффективность работы.

В настоящее время прогресс в теплоэнергетике и, в частности, в источниках теплоснабжения связывают с достаточно широким внедрением в практику энергетических газотурбинных установок (ГТУ). В стационарной энергетике на тепловых электрических станциях широкое применение получили ГТУ открытого типа с подводом теплоты к рабочему телу при постоянном давлении. Мощность, развиваемая газовой турбиной, затрачивается на привод компрессора и других вспомогательных механизмов (60–70 %), а оставшаяся (избыточная) часть мощности (30–40 %) преобразуется, например, в электрическую энергию в генераторе, т.е. передается потребителю. Выработка электрической энергии в энергетической ГТУ осуществляется в одной компактной установке в отличие от более сложных и громоздких паросиловых установок, состоящих из парового котла, турбины, электрогенератора и вспомогательного тепломеханического оборудования. Однако КПД по выработке электроэнергии современной ГТУ существенно ниже, чем КПД паротурбинной установки на паровом цикле, что обусловлено наличием воздушного турбокомпрессора, потребляемая мощность которого составляет 40–50 % мощности газовой турбины. Поэтому в современной энергетике ГТУ в

*The analysis of work of the gas-turbine GTU-25 installation on the basis of the aviation NK-37 engine is made at injection of water vapor in the combustion chamber, advantages and restrictions of this way are described, graphic dependences of the main indicators of overall performance of gas-turbine installation on a consumption of injectable water vapor are given to the combustion chamber.*

**Key words:** gas-turbine installation, injection, water vapor, combustion chamber, efficiency, overall performance.

основном используют совместно с паротурбинными установками, т.е. в парогазовом цикле [1, 2].

Сооружение парогазовых установок (ПГУ) является основной тенденцией развития мировой теплоэнергетики в последнее время. Комбинация циклов Брайтона и Ренкина обеспечивает повышение тепловой экономичности комбинированной установки. На практике получила распространение ПГУ с котлом-утилизатором. При этом большая часть мощности комбинированной установки приходится на ГТУ. В газовой части ПГУ с котлом-утилизатором атмосферный воздух, сжатый турбокомпрессором, поступает в камеру сгорания (КС), где к нему при сжигании топлива подводится теплота. Образующиеся продукты сгорания смешиваются с избыточным воздухом, и далее газы (рабочее тело) адиабатно расширяются в газовой турбине (ГТ), производя работу, которая затрачивается на вращение турбокомпрессора и электрогенератора. Уходящие из турбины газы направляются в топку котла-утилизатора (КУ) [2].

В целях увеличения тепловой экономичности параметры рабочего тела ГТУ постоянно повышаются. Одновременно используются другие возможности увеличения экономичности и удельной мощности установок (промежуточное охлаждение воздуха

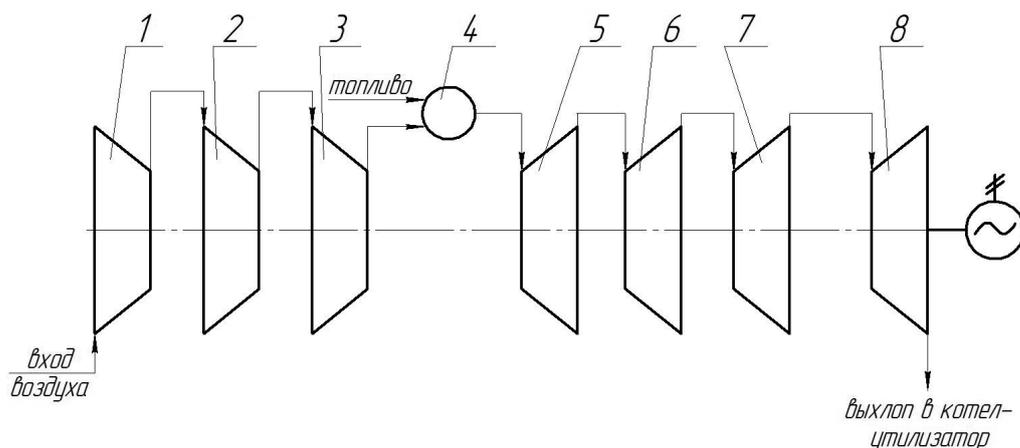


Рис. 1. Схема газовоздушного тракта ГТУ-25:

1 – компрессор низкого давления; 2 – компрессор среднего давления; 3 – компрессор высокого давления; 4 – камера сгорания; 5 – турбина высокого давления; 6 – турбина среднего давления; 7 – турбина низкого давления; 8 – свободная силовая турбина

в компрессоре, повторный подогрев рабочего тела ГТУ перед силовой турбиной, впрыск водяного пара и воды в газовый тракт установки и др.).

В последние годы ГТУ с впрыском пара получают все более широкое распространение во многих странах мира. Хорошие результаты в этом направлении могут быть достигнуты в результате использования ГТУ с впрыском пара в составе комбинированных установок, что позволяет увеличить удельную мощность и КПД установки, уменьшить вредные выбросы, а также увеличить общий коэффициент использования теплоты топлива. Уже сейчас КПД ГТУ с впрыском пара достигает 50-52 %, а коэффициент использования теплоты топлива находится в пределах 90 % [1, 3].

В рамках данной работы был проведен термодинамический расчет ГТУ-25 на базе авиационного двигателя НК-37 с использованием конкретных характеристик всех его узлов. Схема ГТУ приведена на рис. 1.

Ведущие фирмы-производители энергетических ГТУ используют впрыск воды или водяного пара в установки преимущественно для поддержа-

ния концентрации оксидов азота в выходных газах в пределах нормы. Такой впрыск оказывает влияние и на энергетические показатели установки [4].

Для установления параметров работы ГТУ выполнены варианты расчеты. За основу была принята ГТУ-25 на базе авиационного двигателя НК-37, установленная на Безымянской ТЭЦ. Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Для определения параметров ГТУ при ее работе как с применением впрыска пара в камеру сгорания, так и без него произведен расчет с использованием численного эксперимента. Методика, на основании которой выполнялись исследования, представлена в [5, 6]. В ходе работы эта методика была переработана и преобразована под исследуемый тип ГТУ, разработана компьютерная программа для упрощения процесса расчета.

Ниже приведена методика расчета камеры сгорания ГТУ.

1. После компрессора высокого давления (КВД) воздух с расходом  $\Delta G_{\text{охл.турбин}}$  кг/с:

$$\Delta G_{\text{охл.турбин}} = \Delta G_{\text{охл.}} - \Delta G_{\text{нар.охл.}} - \Delta G_{\text{охл.агр}}$$

Таблица 1

Исходные данные теплового расчета ГТУ

Параметр	Значение параметра
Параметры окружающей среды: температура воздуха $t_n$ (средняя за отопительный период в г. Самаре), °С	- 4,5
давление воздуха $p_n$ , кгс/см <sup>2</sup>	1,0332
Физические обороты ротора низкого давления $n_{нд}$ , об/мин	5103
Топливоприродный газ: низшая теплота сгорания при 20 °С $Q_n^p$ , МДж/кг	50,03
теоретически необходимое кол-во воздуха для сжигания топлива $L_{\text{тв}}$ , кг/кг	16,711

с параметрами  $p_{2ВД}$ , кгс/см<sup>2</sup>;  $T_{2ВД}$ , К;  $i_{2ВД}$ , кДж/кг, направляется на охлаждение турбин и распределяется следующим образом:

- на охлаждение турбины высокого давления (ТВД)

$$\Delta G_{охлТВД} = 0,57 \cdot \Delta G_{охл};$$

- на охлаждение турбины среднего давления (ТСД)

$$\Delta G_{охлТСД} = 0,115 \cdot \Delta G_{охл};$$

- на охлаждение турбины низкого давления (ТНД)

$$\Delta G_{охлТНД} = 0,085 \cdot \Delta G_{охл}.$$

2. Температура газов  $T_4$ , К, перед ТВД из

постоянства  $\frac{n_{ВД}}{\sqrt{T_4}} = 247$ :

$$T_4 = \left( \frac{n_{ВД}}{247} \right)^2.$$

3. Расход воздуха  $G_{вКС}$ , кг/с, в камеру сгорания ГТУ:

$$G_{вКС} = G_{вНД} - \Delta G_{охл} - \Delta G_{клСД} - \Delta G_{клВД}.$$

4. Относительный расход  $g_{То}$  стандартного углеводородного топлива, имеющего при температуре 293 К низшую теплоту сгорания  $(Q_n^p)^{CT} = 42914,7$  кДж/кг (10250 ккал/кг) и теоретически необходимое количество воздуха  $L_0^{CT} = 14,78$  кг/кг.

$$g_{То} = \frac{(i_4 - i_2)_{\alpha=\infty}}{(Q_n^p)^{CT} \cdot \eta_{\Gamma} - (1 + L_0^{CT})(i_4 - i_2)_{\alpha=1} + L_0^{CT}(i_4 - i_2)_{\alpha=\infty}},$$

где  $(Q_n^p)^{CT}$  - низшая теплота сгорания стандартного

топлива при температуре  $T_{2ВД}$ , К, определяемая выражением

$$(Q_n^p)^{CT} = (Q_n^p)_0^{CT} + L_0^{CT} \cdot (i_2 - i_{293})_{\alpha=\infty} - (1 + L_0^{CT})(i_2 - i_{293})_{\alpha=1},$$

а остальные величины определяются по  $\pi$ - $i$  - номограмме [5];

$\eta_{\Gamma} = 0,99$  - полнота сгорания топлива в КС, берётся из диапазона  $\eta_{\Gamma} = 0,98 \div 0,996$ .

5. Относительный расход  $g_T$  действительного топлива, имеющего  $L_0 = 16,711$  кг/кг и низшую теплоту сгорания при температуре 20 °С

$$(Q_n^p)_0 = 49873 \text{ кДж/кг (11912 ккал/кг):}$$

$$g_T = \frac{0,98}{\eta_{\Gamma}} \cdot \frac{10250}{Q_n^p} \cdot g_{То},$$

где  $Q_n^p$  - низшая теплота сгорания действительного топлива при  $T_{2ВД}$ , К, определяемая выражением

$$Q_n^p = (Q_n^p)_0 + L_0 \cdot (i_2 - i_{293})_{\alpha=\infty} - (1 + L_0)(i_2 - i_{293})_{\alpha=1}.$$

6. Секундный  $G_{TC}$ , кг/с, и часовой  $G_{Tч}$ , кг/ч, расходы топлива в КС:

$$G_{TC} = g_T \cdot G_{вКС}; \quad G_{Tч} = 3600 \cdot G_{TC}.$$

7. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  в КС:

$$\alpha = \frac{1}{g_T \cdot L_0}.$$

8. Энтальпия  $i_4$ , кДж/кг, и функция  $\pi$  газов на выходе из КС (на входе в ТВД):

$$i_4 = \pi - i(T_4; \alpha); \quad \pi_4 = \pi - i(T_4; \alpha).$$

9. Расход газа  $G_{\Gamma}$ , кг/с, на выходе из КС (на входе в ТВД):

$$G_{\Gamma} = G_{вКС} + G_{TC}.$$

10. Теплота  $Q_{КС}$ , кВт, подводимая в камеру сгорания:

$$Q_{КС} = G_{\Gamma} \cdot (i_4 - i_{2ВД}).$$

11. Давление газов  $p_4$ , кгс/см<sup>2</sup>, на выходе из КС (на входе в ТВД):

$$p_4 = p_{2ВД} \cdot \sigma_{КС},$$

где  $\sigma_{КС}$  - коэффициент восстановления полного давления в КС, берётся из диапазона  $\sigma_{КС} = 0,94 \div 0,95$ .

12. Мощности компрессоров  $N$ , кВт, (КНД, КСД, КВД) рассчитываются по формулам:

$$N_{КНД} = G_{вНД} \cdot \Delta i_{КНД};$$

$$N_{КСД} = G_{вСД} \cdot \Delta i_{КСД};$$

$$N_{КВД} = G_{вВД} \cdot \Delta i_{КВД},$$

где  $G_{вНД}$ ,  $G_{вСД}$ ,  $G_{вВД}$  - расход воздуха, кг/с, на входе в КНД, КСД, КВД соответственно;

$\Delta i_{КНД}$ ,  $\Delta i_{КСД}$ ,  $\Delta i_{КВД}$  - повышение энтальпии, кДж/кг, в реальном процессе в КНД, КСД, КВД, соответственно.

13. Мощности турбин  $N$ , кВт, (ТВД, ТСД, ТНД, СТ) рассчитываются по формулам:

$$N_{ТВД} = \frac{N_{КВД}}{\eta_m};$$

$$N_{ТСД} = N_{КСД};$$

$$N_{ТНД} = N_{КНД};$$

$$N_{iCT} = G_{CT} \cdot \Delta i_{CT},$$

где  $\eta_m$  – механический КПД всей ГТУ (условно отнесён к каскаду высокого давления);

$G_{CT}$  – расход газов через СТ, кг/с;

$\Delta i_{CT}$  – теплоперепад, срабатываемый в СТ, кДж/кг.

14. Эффективная мощность  $N_e$ , МВт, силовой турбины:

$$N_e = N_{iCT} \cdot \eta_{CT},$$

где  $N_{iCT}$  – внутренняя мощность СТ, МВт;

$\eta_{CT}$  – механический КПД силовой турбины.

15. Эффективный КПД  $\eta_e$  ГТУ:

$$\eta_e = \frac{N_e}{Q_{КС}}.$$

16. Электрическая мощность ГТУ  $N_{Э}$ , МВт:

$$N_{Э} = N_e \cdot \eta_{ЭГ},$$

где  $\eta_{ЭГ}$  – КПД электрогенератора.

17. Коэффициент полезной работы  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{N_{CT}}{N_{ТВД} + N_{ТСД} + N_{ТНД} + N_{СТ}}.$$

18. Удельный расход топлива  $d$ , кг/(кВт·ч):

$$d = \frac{G_{Tc}}{N_e \cdot 1000} \cdot 3600.$$

Основные результаты расчетов приведены в табл. 2.

Впрыск водяного пара можно производить в камеру сгорания или в турбокомпрессор ГТУ. Техническая трудность организации конденсации пара из парогазовой смеси в ПГУ и связанная с этим необходимость постоянной работы достаточно мощной водоподготовительной установки является главным недостатком ПГУ со впрыском водяного пара (ПГУ монарного типа).

В работе [7] для повышения мощности и экономичности парогазовой установки предлагается забор воздуха в турбокомпрессор ГТУ производить из вытяжной башни градирни. При этом подача выходящего из градирни насыщенного водяными парами и содержащего капельную влагу воздуха в турбокомпрессор позволяет улучшить теплофизические свойства рабочего тела в турбокомпрессоре и в

газовой турбине и повысить экономичность и мощность парогазовой установки электростанции за счет уменьшения работы сжатия в турбокомпрессоре и повышения располагаемого теплоперепада в газовой турбине. Уменьшение работы сжатия в турбокомпрессоре происходит потому, что часть воздуха, идущего из турбокомпрессора и служащая для уменьшения температуры рабочих газов до допустимой по условиям прочности деталей газовой турбины, замещается паром, на повышение давления которого затрачивается меньше энергии (в данном случае не затрачивается энергия), чем на повышение давления воздуха в турбокомпрессоре. Если газопаровая смесь покидает котел-утилизатор при температуре, превышающей точку росы, то в этом случае теплота конденсации водяного пара, полученная им в градирне и составляющая значительную величину, не используется в установке, а отводится в атмосферу.

Кроме того, подача в камеру сгорания газотурбинной установки увлажненного воздуха уменьшает концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания и количество выбросов в атмосферу и увеличивает срок службы высоко напряженных элементов газотурбинной установки за счет снижения температуры газов в камере сгорания.

На рис. 2-8 показано влияние впрыска пара на характеристики ГТУ-25. Впрыск пара обычно не превышает 5 % общего объема воздуха, сжимаемого компрессором. На рис. 2-7 приведены графические зависимости КПД турбин среднего давления (ТСД), низкого давления (ТНД), свободной силовой турбины (СТ), эффективного КПД ГТУ, коэффициента полезной работы ГТУ, электрической мощности и мощности СТ от расхода впрыскиваемого в КС водяного пара.

Рис. 8 отображает зависимость удельного расхода топлива от количества впрыскиваемого пара. Расход водяного пара, подаваемого в КС, представлен в процентном отношении от расхода воздуха, поступающего в КС.

Анализируя рис. 2-8, следует отметить следующее:

- с увеличением расхода впрыскиваемого в КС ГТУ водяного пара КПД ТСД возрастает;
- КПД ТНД в малой степени зависит от  $G_{пара}$ ;
- КПД СТ при увеличении расхода пара уменьшается;
- эффективный КПД ГТУ возрастает значительно при некотором его уменьшении при относительном расходе водяного пара  $G_{пара} = 1 \%$ ;

Таблица 2

Результаты теплового расчета ГТУ

Параметр	Значение параметра при расходе впрыскиваемого пара $G_{\text{пара}}$ , % от расхода воздуха, поступающего в КС				
	0	1	2	3	4
Действительный расход воздуха через КНД $GB_{\text{НД}}$ , кг/с	113,108				
Мощность КНД $N_{\text{КНД}}$ , МВт	9,105				
Мощность КСД $N_{\text{КСД}}$ , МВт	15,262				
Мощность КВД $N_{\text{КВД}}$ , МВт	29,914				
Суммарная степень сжатия компрессоров $\pi_{\text{к}\Sigma}$	25,89				
Расход топлива в КС $G_{\text{т}}$ , кг/с	1,868				
Расход впрыскиваемого пара $G_{\text{пара}}$ , кг/с	–	0,885	1,769	2,655	3,539
Коэффициент избытка воздуха в КС $\alpha$	2,834				
Расход газов на выходе из КС $G_{\text{г}}$ , кг/с	90,357	91,242	92,126	93,012	93,896
Тепло, подводимое в КС, $G_{\text{КС}}$ , МВт	90,134	92,441	94,748	97,055	99,362
Мощность ТВД $N_{\text{ТВД}}$ , МВт	30,217				
Мощность ТСД $N_{\text{ТСД}}$ , МВт	15,262				
Мощность ТНД $N_{\text{ТНД}}$ , МВт	9,105				
КПД ТВД $\eta_{\text{ТВД}}$	0,85				
КПД ТСД $\eta_{\text{ТСД}}$	0,892	0,896	0,898	0,897	0,898
КПД ТНД $\eta_{\text{ТНД}}$	0,91	0,908	0,908	0,912	0,911
Эффективная мощность СТ $N_{\text{э}}$ , МВт	30,95	31,04	33,99	34,64	36,07
Эффективный КПД ГТУ $\eta_{\text{е}}$	0,343	0,336	0,359	0,357	0,363
Расход газов в КУ $G_{\text{КУ}}$ , кг/с	112,14	113,03	113,91	114,80	115,68
Тепло, переданное в КУ, $Q_{\text{КУ}}$ , МВт	42,93	45,35	45,12	46,96	48,11
Электрическая мощность ГТУ $N_{\text{э}}$ , МВт	30,181	30,268	33,149	33,779	35,168
Коэффициент полезной работы $\phi$	0,363	0,363	0,385	0,389	0,399
Удельный расход топлива $d$ , кг/кВт·ч	0,2228	0,2222	0,2029	0,1991	0,1912

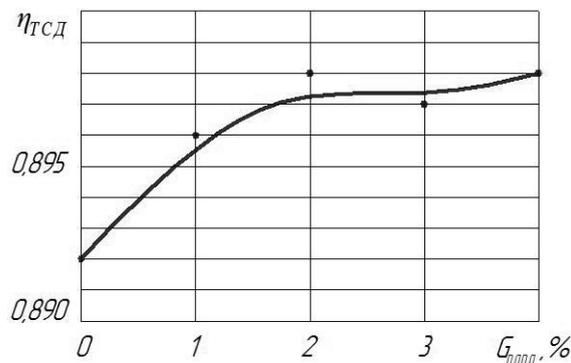


Рис. 2. Влияние впрыскиваемого в КС водяного пара на КПД ТСД

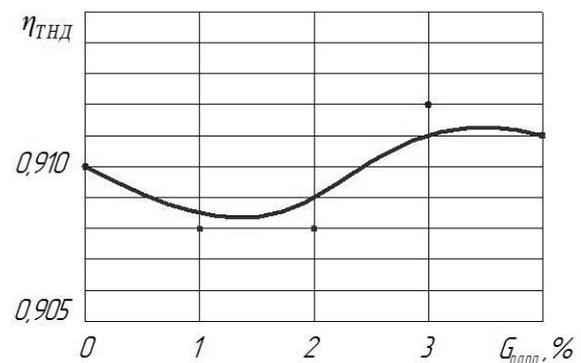


Рис. 3. Влияние впрыскиваемого в КС водяного пара на КПД ТНД

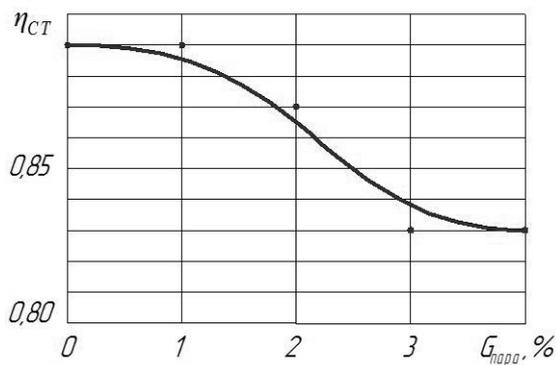


Рис. 4. Влияние впрыскиваемого в КС водяного пара на КПД СТ

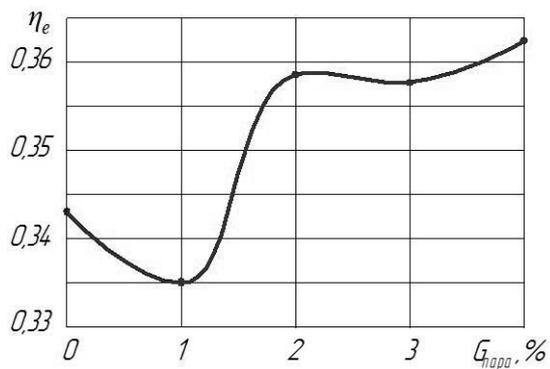


Рис. 5. Влияние впрыскиваемого в КС водяного пара на эффективный КПД ГТУ

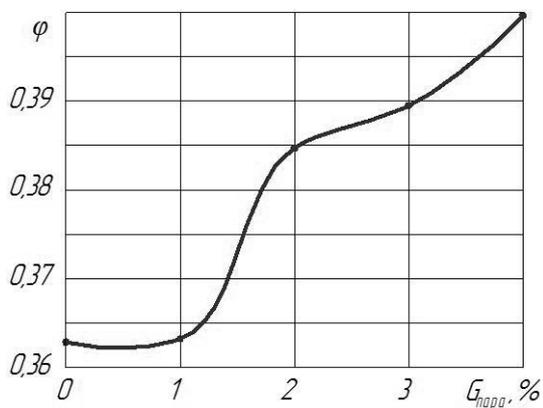


Рис. 6. Влияние впрыскиваемого в КС водяного пара на коэффициент полезной работы ГТУ

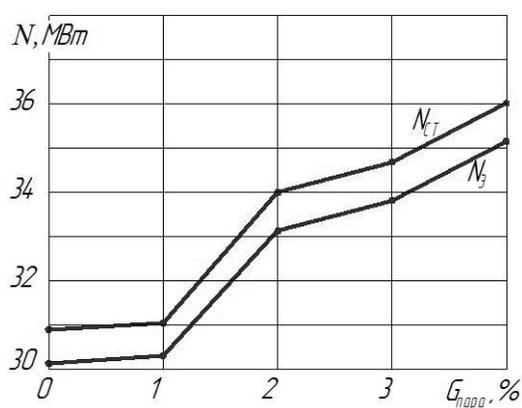


Рис. 7. Влияние впрыскиваемого в КС водяного пара на электрическую мощность ГТУ и мощность СТ

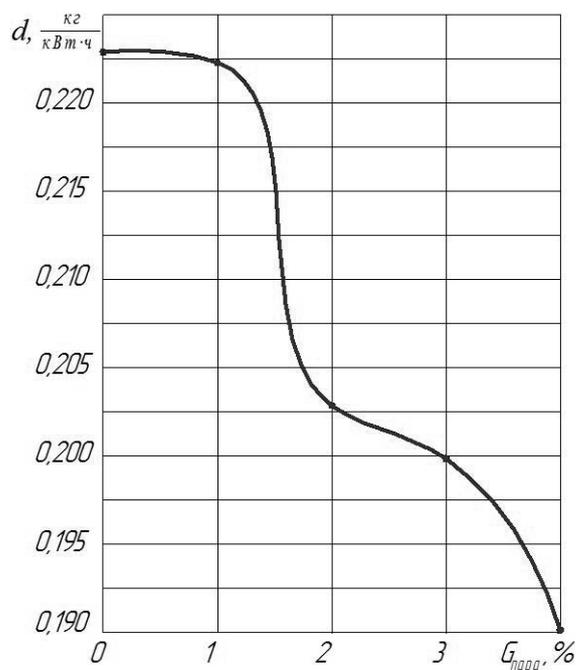


Рис. 8. Зависимость удельного расхода топлива от расхода впрыскиваемого в КС водяного пара

– коэффициент полезной работы установки при  $G_{\text{пара}} > 1$  % увеличивается значительно;

– применение впрыска пара в КС обуславливает понижение удельных расходов топлива на выработку электрической энергии.

Одно из существенных отличий энергетических ГТУ с впрыском водяного пара в камеру сгорания от ГТУ, которые работают без впрыска воды или водяного пара, состоит в существенном изменении соотношения рабочих тел, проходящих через турбокомпрессор и газовую турбину, что приводит к необходимости соответствующего увеличения площадей проходных сечений проточной части ГТ. Возможное решение – это увеличение скорости рабочего тела в проточной части установки, что приводит к снижению КПД ГТУ [1].

Газотурбинные установки, в которые впрыскивается вода или водяной пар, должны быть рассчитаны на некоторое увеличение эффективного сечения проточной части ГТ. Кроме того, превышение допустимого уровня впрыска может уменьшить запас устойчивости турбокомпрессора по помпажу.

Отработавшие в газовой турбине и охлажденные в котле-утилизаторе газы отводятся в окружающую среду посредством газоотводящей (дымовой) трубы. Газоотводящая труба – это достаточно дорогое сооружение, требующее постоянного обслуживания.

Для снижения эксплуатационных затрат и капитальных вложений в строительство тепловых электростанций, снабженных парогазовыми установками, в работе [8] предложена тепловая схема ПГУ, в которой отвод газов в окружающую среду осуществляется через градирню. В этом случае на электростанции не нужно сооружать и эксплуатировать газоотводящую дымовую трубу. Для этого в вытяжной башне градирни устанавливается распределительное устройство, состоящее из двух соединенных между собой патрубком кольцевых перфорированных коллекторов переменного поперечного сечения.

Отводящие газы по газоходу направляются в распределительное устройство, посредством которого равномерно перемешиваются с движущимся в вытяжной башне градирни подогретым атмосферным воздухом и вместе с ним отводятся в атмосферу и рассеиваются в ней.

**Выводы.** 1. Выполнен анализ работы энергетических ГТУ. Ведущие фирмы-производители энергетических ГТУ используют впрыск воды или водяного

пара в установки преимущественно для поддержания концентрации оксидов азота в выходных газах в пределах нормы. Одновременно впрыск воды или водяного пара оказывает влияние и на энергетические показатели установки: приводит к росту мощности газотурбинной установки, что позволяет снизить удельный расход топлива на выработку электрической энергии.

2. Выполнен термодинамический расчет ГТУ-25 на базе авиационного двигателя НК-37 с использованием конкретных характеристик всех его узлов. Установлено, что при применении впрыска водяного пара в камеру сгорания ГТУ эффективность работы установки повышается. При впрыске водяного пара в камеру сгорания НК-37 в количестве 4 % от объема воздуха, подаваемого в камеру сгорания, электрическая мощность ГТУ возрастает с 30,2 до 35,2 МВт (на 5 МВт), а эффективный КПД повышается с 0,343 до 0,363 (на 2 %). При этом удельный расход газообразного топлива снижается с 222,8 до 191,2 г/(кВт·ч) (на 31,6 г/(кВт·ч)).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цанев, С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 584 с.
2. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование. М.: ИНФРА-М, 2012. 325 с.
3. Морозенко М.И. Исследование эффективности ГТУ с впрыском пара и водогрейным котлом: дис. ... к.т.н. М., 2002. 161 с.
4. Хоменок Л.А. Создание горелочных устройств камер дожига котлов - утилизаторов ПГУ-ТЭЦ // Теплоэнергетика. 2007. № 9. С. 10-11.
5. Дорофеев В.М., Маслов В.Г., Первышин Н.В. и др. Термогазодинамический расчет газотурбинных силовых установок. М.: Машиностроение, 1973. 144 с.
6. Кудинов А.А. Парогазовые установки тепловых электрических станций. Самара: СамГТУ, 2009. 116 с.
7. Патент № 2373403 (RU). МПК7 С 01 F01K 23/10 Парогазовая установка электростанции / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Егоров М.А. // Б.И. № 32, 2009.
8. Патент № 2453712 (RU). МПК7 С 2 F01K 23/10 Парогазовая установка электростанции / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П. // Б.И. № 17, 2012.

© Кудинов А.А., Горланов С.П., 2014

Об авторах:

**КУДИНОВ Анатолий Александрович**

доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций

Самарский государственный технический университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Первомайская, 18,  
тел. (846) 332-42-31

**KUDINOV Anatoly**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Thermal Power Plants Chair

Samara State Technical University  
443001, Russia, Samara, Pervomayskaya str., 18,  
tel. (846) 332-42-31

**ГОРЛАНОВ Сергей Петрович**

аспирант кафедры тепловых электрических станций  
Самарский государственный технический университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Первомайская, 18,  
тел. (846)333-65-77

**GORLANOV Sergey**

Postgraduate Student of the Thermal Power Plants Chair  
Samara State Technical University  
443001, Russia, Samara, Pervomayskaya str., 18,  
tel. (846) 332-42-31

Для цитирования: *Кудинов А.А., Горланов С.П. Повышение эффективности газотурбинной установки путем впрыска водяного пара в камеру сгорания двигателя НК-37 // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 1 (14). С. 103-109.*