

Брезгин К. Н.

**[ВЫБОР ГТУ ДЛЯ НАДСТРОЙКИ НАД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОТЛОМ ПРИ СОЗДАНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ](#)**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2008/7/9.html](http://www.gramota.net/materials/1/2008/7/9.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**[Альманах современной науки и образования](#)**

Тамбов: Грамота, 2008. № 7 (14). С. 31-33. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2008/7/](http://www.gramota.net/materials/1/2008/7/)

**[© Издательство "Грамота"](#)**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

$$\Phi_n \equiv \Phi_n(s) = \frac{\left[ K_{n+1/2} / s^{1/2} \right]}{\left[ \left( K_{n+1/2} / s^{1/2} \right)_s \right]}$$

Из (2.7) и (2.11) получаем:

$$W_n^- = \frac{\left( A_{1n}s^4 + B_{1n}s^2 + C_{1n}\gamma_0 \left[ \left( p_{in}^- \right)_{r=1} - \left( \partial p_{in}^- / \partial r \right)_{r=1} \Phi_n / s + q_n^- \right] \right)}{D_{2n}s^6 + A_{2n}s^4 + B_{2n}s^2 + C_{2n} - \gamma_1 \gamma_0 s \Phi_n (A_{1n}s^4 + B_{1n}s^2 + C_{1n})} \quad (2.12)$$

Из (2.5) и (2.12) находим:

$$\xi^- = \frac{\gamma_0}{3(1+\varepsilon)\gamma s^2} \left[ \left( p_{i,1}^- \right)_{r=1} - \left( \frac{\partial p_{i,1}^-}{\partial r} \right)_{r=1} \frac{\Phi_1 + q_1^-}{s} \right] + m \frac{\Phi_1}{s} \Phi_1^-, \quad (2.13)$$

$$m = \gamma_0 \gamma_1 / [3\gamma(1+\varepsilon)]$$

где  $m$  - отношение массы жидкости в объеме сферической оболочки радиуса  $a$  к массе самой оболочки. Из (2.1), (2.12) и (2.13) с учетом (2.8) окончательно получаем следующие выражения для изображений смещения центра масс  $\xi^-$ , коэффициентов разложений радиального смещения  $W_n^-$  и результирующей нагрузки на оболочку  $P_n^-$ :

$$\xi^- = \gamma_0 L_1 [3(1+\varepsilon)\gamma s^2 (1 - \gamma_1 \gamma_0 s \Phi_1 M_1)]^{-1} \quad (2.14)$$

$$w_n^- = W_n^- - \xi^- \delta_{ln} = \frac{\gamma_0 L_n M_n}{1 - \gamma_1 \gamma_0 s \Phi_n M_n} \left[ 1 - \frac{\delta_{ln}}{2\gamma(1+\varepsilon)s^2 M_1} \right] \quad (2.15)$$

$$p_n^- = L_n (1 - \gamma_1 \gamma_0 s \Phi_n M_n)^{-1} \quad (2.16)$$

$$L_n = \left( p_{i,n}^- \right)_{r=1} - \left( \partial p_{i,n}^- / \partial r \right)_{r=1} \Phi_n / s + q_n^- \quad (2.17)$$

$$M_n = \left( A_{1n}s^4 + B_{1n}s^2 + C_{1n} \right) / \left( D_{2n}s^6 + A_{2n}s^4 + B_{2n}s^2 + C_{2n} \right) \quad (2.18)$$

Для изображения безразмерной силы  $p^- (F = F^i / (\pi a^2 E))$ ,

где  $F^i$  - величина размерной силы) находим:

$$F = 2 \int_0^\pi \left[ \left( p_i^- + p_d^- + p_R^- \right)_{r=1} + q^- \right] \cos \theta \sin \theta d\theta = 4\gamma(1+\varepsilon)s^2 \xi^- / \gamma_0 \quad (2.19)$$

В частном предельном случае безразмерной оболочки

( $\chi \rightarrow 0$ ,  $\varepsilon \rightarrow 0$ ) получаем из (2.14) - (2.18) результаты, совпадающие с предельными результатами из аналогичных формул [Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. 1973: 1] (если в этих формулах, выведенных на основе оболочечных уравнений Кирхгофа - Лява, перейти к пределу при  $\varepsilon \rightarrow 0$ ).

#### Список использованной литературы

1. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Методы теории функций комплексного переменного. - М.: Наука, 1973. - 736 с.
2. Метсавэр Я. А., Векслер Н. Д., Стулов А. С. Дифракция акустических импульсов на упругих телах. - М.: Наука, 1979. - 239 с.

## ВЫБОР ГТУ ДЛЯ НАДСТРОЙКИ НАД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОТЛОМ ПРИ СОЗДАНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Брезгин К. Н.

ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Наиболее эффективным использованием природного газа является применение газотурбинных установок (ГТУ), в которых выхлопные газы полностью направляются в обычные энергетические котлы или котлы-утилизаторы (паровые или водогрейные). Особенно привлекательным представляется использование ГТУ при создании новых небольших ТЭС и реконструкции котельных.

Наибольший коэффициент использования тепла сгорания топлива достигается при так называемой сбросной схеме, когда уходящие за ГТУ дымовые газы направляются в традиционный водогрейный или паровой котел, либо в котел-утилизатор (КУ) с дожигającym устройством. В этом случае, при дожигании на котле кислорода идущего в дымовых газах возможно достижение коэффициентом использования тепла уровня 90%. Особо следует отметить, что газотурбинная надстройка вполне приемлема и для существующих паросиловых блоков ТЭС, поскольку не только повышает мощность и КПД блока при инвестициях в 3...4 раза меньших, чем при строительстве новых бинарных ПГУ, но и улучшает экологические показатели станции в целом.

Известны разработки, проводимые фирмой ОРГРЭС, по реконструкции энергоблока К-215 Псковской ГРЭС с паровым котлом ТПЕ-208 [2]. Согласно исследованиям, предложена технологическая схема органи-

зации совместной работы котла с ГТУ-20С с вытеснением регенерации высокого давления и частичным теплоснабжением.

В качестве варианта надстройки ТЭЦ на базе паровой турбины ПТ-30-90/10 была выбрана схема с утилизацией продуктов сгорания от газовой турбины в паровом котле Е-230-100ГМ (т.е. реализация комбинированной парогазовой установки по сбросной схеме). Дымовые газы от двигателя по газоходу направляются в реконструированный котел для генерирования потребного количества пара с заданными параметрами.

Чтобы не нарушать аэродинамическое сопротивление котла, ГТУ необходимо подбирать по расходу дымовых газов. Для его определения по нормативному методу [3] произведен расчет экономичности работы при номинальной нагрузке 230 т/ч.

На данном паровом котле в качестве топлива используется природный газ из газопровода Уренгой-Ужгород. Поэтому в качестве исходных данных использованы его характеристики.

Рассчитываются объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания топлива. Принимается коэффициент избытка воздуха для верха топки и присосы по газовоздушному тракту котла.

Согласно уравнению теплового баланса принимаются удельные значения потерь теплоты и определяется коэффициент полезного действия котельного агрегата (брутто).

Рассчитывается полезно использованная в паровом котле теплота (по пароводяной «стороне») и полный расход топлива. Определяется искомый расход дымовых газов в топке парового котла.

В результате расчета расход дымовых газов составил  $G_{дг} = 61,86 \text{ кг/с}$ . По каталогу газотурбинного оборудования [1] данному требованию в пределах  $\pm 10\%$  удовлетворяют энергетические ГТУ отечественного производства с частотой вращения ротора 3000 об/мин, представленные в Таблице 1.

**Табл. 1.** Основные данные по энергетическим ГТУ отечественного производства

Производитель, разработчик	Модель	Номинальная/ пиковая мощность, МВт	КПД привода, %	Расход рабочего тела через двигатель, кг/с	Температура на входе в турбину/ выходе из двигателя, К
ОАО «НПО Сатурн»	АЛ-31СТЭ	16,8/-	37,0	65,2	-/799
ОАО «Моторостроитель», ОАО «СКБМ»	НК-12ЭБР	6,3/-	25,5	55,7	950/590
ОАО «Пермский моторный завод», ОАО «Авиадвига- тель»	ГТУ-16ПЭР	16,8/18,5	35,6	56,1	1480/768
	ГТЭ-16ПА	16,8/18,5	36,6	56,4	1494/751
ОАО «УМПО»	АЛ-31СТЭ	18/-	36,5	65,87	1548/762

Из Табл. 1 выбирается газотурбинная энергетическая установка АЛ-31СТЭ мощностью 18 МВт производства ОАО «УМПО» г.Уфа, у которой расход газов на выходе из силовой турбины составляет 65,87 кг/с (запас по расходу составил 6,5%) с температурой 762 К. Критерием выбора также является достаточно высокий КПД цикла Брайтона, электрическая мощность и место производства, поскольку надстраиваемый котел Е-230-100ГМ эксплуатируется на Уфимской ТЭЦ-3.

При сбросе продуктов сгорания в котел должен обеспечиваться минимальный температурный напор на горячем конце пароперегревателя в  $30^{\circ}\text{C}$  [4]. Следовательно, для генерирования пара с температурой  $510^{\circ}\text{C}$  (783 К) необходимо вводить дожигание топлива.

Чтобы использовать энергетическую ГТУ для надстройки парового котла по сбросной схеме, необходимо размещать ее в непосредственной близости к котлу для сокращения протяженности весьма больших по габаритным размерам газоходов. Такое условие трудно выполнить при модернизации действующих энергоустановок из-за отсутствия свободных площадок. В схеме ПГУ приходится устанавливать несколько газовых шиберов большого диаметра для перераспределения потока выходных газов ГТУ при изменении режима работы и обеспечивать их надежную эксплуатацию. Они должны быть быстрозапорными, а их эксплуатация - автоматизированной в широком диапазоне нагрузок. Выходные газы ГТУ по газоходу направляются в горелки парового котла для сжигания в их среде газообразного топлива, т.к. они содержат достаточное количество несгоревшего кислорода ( $\alpha = 3,0...4,0$ ).

В базовом варианте тепловой схемы ПГУ сбросного типа в паровом котле отсутствует воздухоподогреватель. Общее количество газов, которые проходят через поверхности нагрева котла, увеличивается до 20-30%, а их температура за котлом (т.е. за водяным экономайзером) составляет около  $230^{\circ}\text{C}$ . Для охлаждения этих газов до температуры  $130^{\circ}\text{C}$  отключают ПВД, часть ПНД и подогреватель очищенной воды. В конвективной шахте устанавливают газовый подогреватель низкого давления (ГПНД) и газовый подогреватель очищенной воды (ГПОВ), в которых нагревается основной конденсат и химочищенная вода. Это увеличивает расход пара в конденсатор, повышает ее электрическую мощность и снижает экономичность паротурбинной установки. При этом соблюдаются ограничения по максимальному расходу пара в конденсатор и предельной электрической нагрузке генератора ПТУ. Также возможна установка газового подогревателя сете-

вой воды (ГПСВ) для отпуща теплоты внешнему потребителю. Газоводяные подогреватели, выполненные из труб с поперечно-спиральным оребрением, размещены в конвективной шахте.

При сжигании топлива в среде забалластированных продуктами сгорания газов ГТУ температура в зоне активного горения топлива топочной камеры парового котла понижена, что в свою очередь снижает общее количество выбросов оксидов азота в ПГУ сбросного типа на 25-30% по сравнению с выбросами паросило-вых блоков аналогичной мощности.

Из-за общего увеличения количества дымовых газов за паровым котлом приблизительно на 20% при пе-реходе к парогазовому циклу потребуются реконструкция тягодутьевой установки и увеличение производи-тельности дымососов. Изменяются также условия работы дымовой трубы, поэтому необходимо пересчитать эпюры статического давления газов в ней и обеспечить ее надежную эксплуатацию [4].

#### Список использованной литературы

1. Каталог газотурбинного оборудования. Газотурбинные технологии. - Газпром, 2006.
2. Надстройка тепловой схемы энергоблока К-215 Псковской ГРЭС газотурбинными установками / Буринов М. А., Коновалов Р. Н. // Обобщение опыта эксплуатации теплотехнического оборудования, тепловых сетей, зданий и сооружений энергопредприятий: Сборник докладов технической конференции. - М.: ЦПТИ ОРГРЭС, 2004. - С. 120-141.
3. Тепловой расчет (нормативный метод). - СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. - Издание 3-е, переработанное и дополненное. - 256 с.
4. Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки электростанций: Учебное пособие. - М.: МЭИ, 2002. - 580 с.

### АСИММЕТРИЧНАЯ УПРУГОСТЬ

Бытеев В. О., Слезко И. В.  
Тюменский государственный университет

Наряду с классической теорией упругости в настоящее время начинает развиваться асимметричная упру-гость. Посредством группового анализа законов сохранения механики сплошных сред установлена структу-ра тензора преобразования [Аннин 1985]. Доказано, что симметричные тензоры напряжений и деформаций связаны несимметричным преобразующим тензором. Возникает необходимость сравнить классическую и асимметричную модели деформации упругого тела. Ограничимся двумерным случаем.

Как известно [Мухелишвили 1933], классическая двумерная модель деформации упругого тела предпо-лагает выражение компонент напряжений и вектора смещения через функции напряжений Эри  $\phi(z)$ ,  $\psi(z)$ :

$$\sigma_{11} + \sigma_{22} = 4 \operatorname{Re}[\phi'(z)],$$

$$\sigma_{22} - \sigma_{11} + i\sigma_{12} = 2[\bar{z}\phi''(z) + \psi''(z)],$$

$$2\mu(u + iv) = \kappa\phi(z) - z\bar{\phi}'(\bar{z}) - \bar{\psi}(\bar{z}),$$

где  $\kappa = \frac{\lambda + 3\mu}{\lambda + \mu} = 3 - 4\sigma$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  - коэффициенты Ламе,  $\sigma$  - коэффициент Пуассона.

Пусть заданы две комплексные плоскости  $Z$ ,  $G$  и определено конформное отображение  $z = \omega(\zeta)$  области  $S \subset Z$  на область  $\Sigma \subset G$ . Введем на плоскости  $G$  полярные координаты  $(\rho, \vartheta)$ , так что  $\zeta = \rho e^{i\vartheta}$ . Тогда поляр-ное представление компонент напряжений и вектора смещения на плоскости  $G$  имеет вид:

$$2\mu[u_\rho + iu_\vartheta] = e^{-i\vartheta} [\kappa\phi(\zeta) - \zeta\bar{\phi}'(\bar{\zeta}) - \bar{\psi}(\bar{\zeta})]$$

Компоненты напряжений найдутся по формулам:

$$\sigma_{11} + \sigma_{22} = 4 \operatorname{Re}[\phi'(\zeta)],$$

$$\sigma_{22} - \sigma_{11} + i\sigma_{12} = 2e^{2i\vartheta} [\bar{\zeta}\phi''(\zeta) + \psi'(\zeta)].$$

Далее будем рассматривать неклассическую двумерную модель асимметрично-упругого тела. Согласно асимметричной модели комплексное представление компонент напряжений совпадает с классическим. По-лярное представление вектора смещений имеет вид:

$$2\kappa_0^2 [u_\rho + iu_\vartheta] = e^{-i\vartheta} \left[ (2\lambda_0^{-1}\kappa_0^2 + \kappa_0)\phi(\zeta) - \kappa_0\zeta\bar{\phi}'(\bar{\zeta}) - \kappa_0\bar{\psi}(\bar{\zeta}) \right],$$

где  $\kappa_0 = \mu + i\mu_0$ . Уравнение вектора смещений содержит три кинетических параметра -  $\lambda_0$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu$ . Причем  $\lambda_0 > 0$ ,  $\mu > 0$ , а параметр  $\mu_0$  (далее будем называть его модулем Бытева) может иметь любое вещественное значе-ние. Заметим, что замена  $\lambda_0 = \lambda + \mu$  при  $\mu_0 = 0$  сводит (4) к классическому уравнению (3) с параметрами  $\lambda$  и  $\mu$  [Мухелишвили 1933].

Рассмотрим задачу о растяжении пластины, ослабленной эллиптическим отверстием. Растягивающее усилие  $p$  направлено под углом  $\alpha$  к оси  $Ox$ .

Отобразим внешность отверстия радиуса  $R$  на внешность круга единичного радиуса. Отображающая функция, согласно [Савин 1968], имеет вид:

$$z = \omega(\zeta) = R(m\zeta + 1/\zeta), \quad R > 0, \quad 0 \leq m \leq 1.$$