

ЭНЕРГЕТИКА

ENERGETICS

УДК 621.311

Влияние отклонения параметров энергоблока на составляющие перерасхода топлива*

И.А. ТИХОНОВ¹, А.И. ДВОРЦЕВОЙ², П.А. ЩИННИКОВ³,
Ю.В. ОВЧИННИКОВ⁴, В.Г. ТОМИЛОВ⁵

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант, ассистент. E-mail: i.tikhonov@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: dvorcevoj@corp.nstu.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

⁴ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: ovchinnikov@corp.nstu.ru

⁵ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: v.tomilov@corp.nstu.ru

Тепловая электрическая станция работает с постоянно меняющимися параметрами, колебания которых вызывают перерасходы топлива. В общем случае расход топлива обусловлен двумя факторами – генерацией требуемого потребителям количества энергии и перерасходом, образующимся из-за отклонения от оптимального режима работы. Часть перерасхода зависит от колебаний нагрузки, вызванных переключениями у потребителя электроэнергии, фактически является «платой за качество» энергии и не может быть снижена. Другая его часть зависит от режима работы, состояния и особенностей оборудования и может быть снижена. Доля именно этой части перерасхода характеризует возможное повышение эффективности станции в условиях отклонения параметров. В статье предложена методика определения признака изменения нагрузки. Разработанная методика реализована в виде отдельного модуля для вычислительного комплекса ОРТЭС, разработанного на кафедре тепловых электрических станций, который позволяет определить технико-экономические показатели энергоблока при заданных значениях регулируемых параметров. При использовании комплекса ОРТЭС в совокупности с разработанным дополнительным модулем можно определить величину составляющих перерасхода топлива, зависящих от изменения нагрузки и отклонения параметров. Анализ отклонения параметров произведен на основе методики разделения энергоблока на элементы, представляющие собой отдельные функциональные части, и методики по определению перерасхода топлива. В ходе анализа данных «ночного провала» нагрузки для энергоблока на базе турбины К-215, а также ее сброса и набора получены значения перерасхода топлива в зависимости от режимов работы энергоблока и отклонения параметров, таких как давление и температура свежего пара.

* Статья получена 05 декабря 2017 г.

Ключевые слова: перерасход топлива, режимы работы теплоэнергетического оборудования, отклонение параметров, методика определения признака изменения нагрузки, вычислительный комплекс ОРТЭС, «ночной провал» нагрузки, изменение нагрузки, переходные режимы

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-153-162

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время средний по России удельный расход условного топлива находится на уровне 315,4 г/кВт · ч [1]. С 2008 года наблюдается стабильное снижение удельного расхода условного топлива, которое достигается как вводом новых высокоэффективных мощностей, так и модернизацией станций с увеличением коэффициента полезного действия.

Используя положение о декомпозиции энергоблока и представлении его в виде элементов [2], каждый из которых является самостоятельно функционирующей частью, конденсационный энергоблок можно представить как самостоятельно функционирующие котельную часть, часть высокого давления турбины, часть среднего и низкого давления турбины, электрическую часть. Связи между полученными элементами определяются перетоками сред и энергии (к ним относятся топливо, воздух, пар, вода, электроэнергия, механическое движение и прочее). При таком разбиении и с использованием методики для определения коэффициента полезного действия по отпуску электроэнергии [3–7] можно получить выражение вида

$$\eta_N = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \varepsilon_S \varepsilon_N, \quad (1)$$

где $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – коэффициенты полезного действия котельной части и части высокого давления турбины, частей среднего и низкого давления турбины, электрической части соответственно; ε_S – структурный коэффициент эксергетических связей ($0 \leq \varepsilon_S \leq 1$), учитывающий взаимосвязи между функционирующими частями энерготехнологического блока; ε_N – эксергетический коэффициент внутрициклового возврата потерь теплоты в турбоагрегате ($\varepsilon_N \geq 1$).

Тогда удельный расход условного топлива для энергоблока

$$b_N = \frac{0,123}{\eta_N}. \quad (2)$$

В свою очередь, перерасход топлива при отклонении значения регулируемого параметра [8–10] определяют по выражению

$$\Delta b_N \approx -b_N \left(\sum_{i=1}^4 \frac{1}{\eta_i} \frac{\partial \eta_i}{\partial x} + \frac{1}{\varepsilon_S} \frac{\partial \varepsilon_S}{\partial x} + \frac{1}{\varepsilon_N} \frac{\partial \varepsilon_N}{\partial x} \right) \Delta x, \quad (3)$$

где Δx – отклонение регулируемого параметра; $\frac{\partial \eta_i}{\partial x}, \frac{\partial \varepsilon_S}{\partial x}, \frac{\partial \varepsilon_N}{\partial x}$ – частные производные каждого влияющего фактора; 1–4 – функциональные элементы энергоблока, определяющие его КПД.

Суммарный удельный перерасход топлива при отклонении n параметров

$$\sum \Delta b_N = \sum_n \left(\frac{\partial b_N}{\partial x_n} \right) \Delta x_n. \quad (4)$$

МЕТОДИКА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕРАСХОДА ТОПЛИВА

Учитывая разделение всего перерасхода топлива на две составляющие в зависимости от причины его возникновения, интегральную оценку составляющих перерасхода топлива при отклонении регулируемых параметров [11–14] в условиях изменения нагрузки можно определить по следующему выражению:

$$\Delta B_{\Delta N}^N \approx \sum_n \sum_l \int_{t_1}^{t_2} \Delta b_N(t) dt, \quad (5)$$

а при неизменной нагрузке – по выражению

$$\Delta B_{\Delta x}^N \approx \sum_n \sum_m \int_{t_3}^{t_4} \Delta b_N(t) dt. \quad (6)$$

В этих выражениях t_1 , t_2 , t_3 , t_4 – время начала и конца изменения нагрузки, время начала и конца отклонения регулируемого параметра соответственно; l , m – количество отклонений нагрузки и регулируемого параметра; n – количество регулируемых параметров.

Общий перерасход топлива при отпуске электроэнергии учитывает оба фактора:

$$\Delta B_N = \Delta B_{\Delta x}^N + \Delta B_{\Delta N}^N. \quad (7)$$

Таким образом, величина $\Delta B_{\Delta N}^N$ характеризует «плату за качество» электроэнергии, а величина $\Delta B_{\Delta x}^N$ зависит от колебаний параметров и, возможно, обеспечит ее снижение.

Методика определения признака изменения нагрузки заключается в сравнении абсолютного прироста нагрузки за определенный период с предельным значением [15]. Предельное значение прироста нагрузки $\Delta N_{\text{пред}}$ обуславливает зону нечувствительности и необходимо для отсева незначительных колебаний нагрузки.

Прирост / снижение нагрузки определяется по выражению

$$\Delta N = N_{\text{зад}} - N_{i+1}, \quad (8)$$

$$|\Delta N| > \Delta N_{\text{пред}}, \quad (9)$$

где i – текущее значение нагрузки в определенный момент времени.

В начале расчета определяется значение $N_{\text{зад}} = N_1$, указывающее величину нагрузки, относительно которой будут происходить колебания. Параметр ΔN характеризует изменение нагрузки, при этом отрицательное значение говорит о том, что нагрузка уменьшается с течением времени, а положительное значение – об увеличении нагрузки. Признак изменения нагрузки представляет собой логическую величину, которая дискретно характеризует изменение нагрузки либо отсутствие изменения. Для его формирования необходимо, чтобы неравенство (8) выполнялось k количество раз подряд. При выполнении этого неравенства параметр $N_{\text{зад}}$ принимает значение N_{i+1} , которое сохраняется до следующего выполнения неравенства. Величина k определяется экспериментальным путем в зависимости от степени колебательности параметра и его инерционности. На рис. 1 изображен колебательный процесс, анализируемый с использованием методики определения признака изменения нагрузки. Данные для построения этого колебательного процесса позволяют детально рассмотреть действие методики. В момент времени $t = 0$ с принимается $N_{\text{зад}} = 185$ МВт. От этого значения нагрузки в сторону ее увеличения и в сторону уменьшения откладывается значение $\Delta N_{\text{пред}} = 1$ МВт. С 7-й по 9-ю секунду происходит два отклонения значения нагрузки свыше предельно допустимого диапазона. Но поскольку данные отклонения имеют малую длительность, неравенство (8) не выполняется три раза ($k = 3$), а значит, признак изменения нагрузки не формируется. С 10-й по 20-ю секунду наблюдается рост нагрузки с 185 до 200 МВт. В период роста нагрузки неравенство (8) выполняется более трех раз, поэтому формируется признак изменения нагрузки, при этом после каждого третьего выполнения неравенства $N_{\text{зад}} = N_{i+1}$. Таким образом, в данном процессе $N_{\text{зад}}$ принимает следующие значения: 185, 188.9, 194.3 и 199, сформированные в процессе роста нагрузки. После выхода энергоблока на новую нагрузку ($N_{\text{зад}} = 185$ МВт) нет сброса или набора мощности и признак изменения нагрузки не формируется.

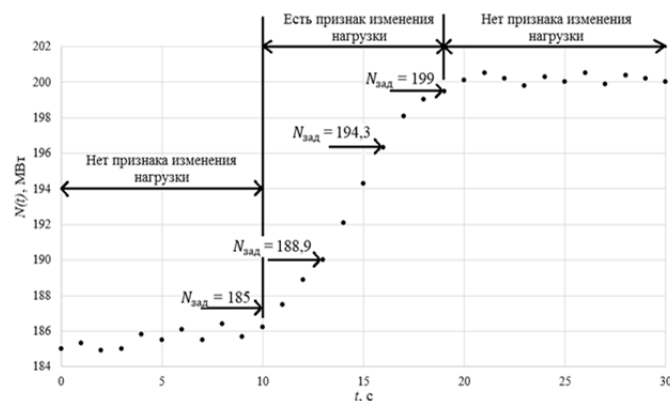


Рис. 1. Колебательный процесс при увеличении нагрузки

Величина промежутков времени, через которые записываются показания нагрузки, влияет на точность определения признака изменения нагрузки. При малых промежутках времени (~ 1 с и меньше) объем обрабатываемых данных

может оказаться избыточным для анализа инерционных процессов и параметров. При больших промежутках времени (более 30...60 с) может произойти «незамеченный» скачок значения измеряемого параметра, что повлияет на точность анализа колебательного процесса.

С использованием методики по определению признака изменения нагрузки разработано программное обеспечение, которое является дополнительным модулем для вычислительного комплекса ОРТЭС, разработанного ранее на кафедре тепловых электрических станций НГТУ. Комплекс ОРТЭС [16] позволяет определять технико-экономические параметры энергоблока, в том числе и перерасход топлива, при заданных значениях регулируемых параметров. С помощью дополнительного модуля можно определить составляющие перерасхода топлива, связанные с изменением нагрузки и с отклонением параметров.

Далее в статье приведены результаты исследования энергоблока на базе турбины К-215. За основу взяты данные «ночного провала», набора и сброса нагрузки. Рассматривалось отклонение от номинальных значений температуры и давления свежего пара при заданной электрической мощности. Для параметров определялись относительные значения:

$$x_i = \frac{x_{\text{тек}}}{x_{\text{ном}}}, \quad (10)$$

где $x_{\text{тек}}$, $x_{\text{ном}}$ – текущие и номинальные значения параметра; i – вид параметра (давление, температура и т. п.).

Номинальный расход топлива определяют по функциональной зависимости

$$B_{\text{ном}} = f(x_{\text{ном}}; N_{\text{тек}}), \quad (11)$$

где $N_{\text{тек}}$ – текущее значение электрической мощности.

Отклонения x_i в сторону больше единицы свидетельствует о превышении параметром номинального значения. В случае относительного расхода топлива больше единицы энергоблок работает с перерасходом топлива, а меньше единицы – с экономией.

При прохождении «ночного провала» для энергоблока на базе турбины К-215 нагрузка составляет ~125 МВт (рис. 2). Одновременно наблюдаются отклонения давления и температуры перегретого пара от номинальных значений, что вызывает перерасход топлива на 1,7 %.

Для режима набора нагрузки (рис. 3) характерны как положительные (избыточный расход топлива) значения перерасхода топлива, так и отрицательные (экономия топлива). По фактическим данным работы энергоблока К-215 отклонения давления составляют от 2 до 0,5 %, температуры – от 1,2 до 2,2 %, что вызывает экономию / перерасход топлива от 0,5 до 0,6 %.

В среднем по режиму величина $\frac{B_{\text{тек}}}{B_{\text{ном}}}$ принимает значения на уровне единицы и не

зависит от давления и температуры.

Аналогично получены результаты для режима сброса нагрузки (рис. 4). Однако в этом случае наблюдается экономия топлива на уровне 0,6 %.

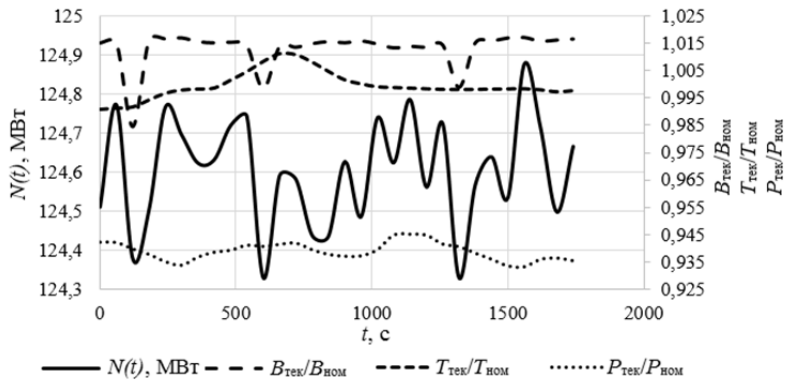


Рис. 2. Параметры работы энергоблока К-215 при «ночном провале» электрической нагрузки

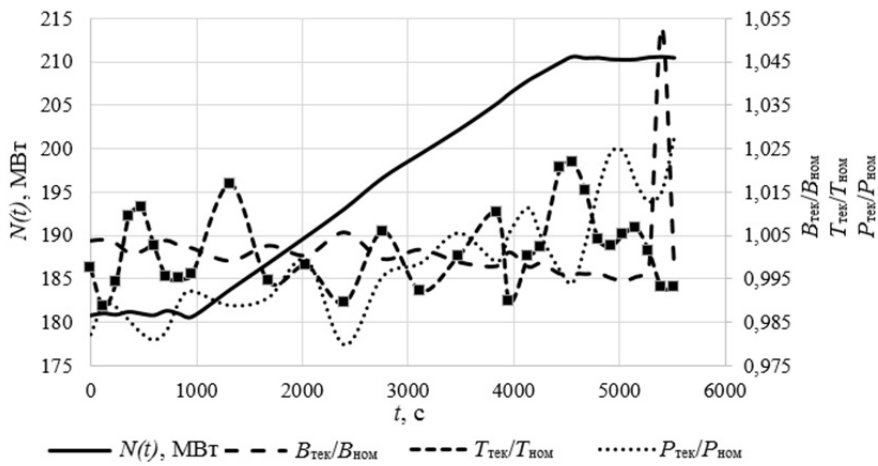


Рис. 3. Параметры работы энергоблока К-215 при наборе нагрузки

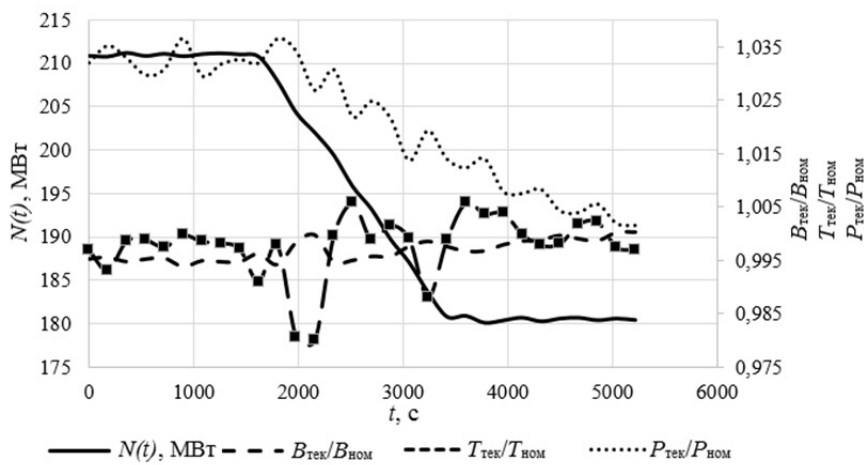


Рис. 4. Параметры работы энергоблока К-215 при сбросе нагрузки

Таким образом, при неизменной нагрузке в случае «ночного провала» наблюдается составляющая перерасхода $\Delta B_{\Delta x}^N$, зависящая от внутренних возмущений параметров, а при сбросе и наборе нагрузки появляется составляющая перерасхода $\Delta B_{\Delta N}^N$, зависящая от изменения нагрузки. В таблице представлены осредненные результаты анализа работы энергоблока на базе турбины К-215 во время «ночного провала» со сбросом и набором нагрузки.

Значение перерасхода топлива и его вид при различных режимах работы энергоблока

Режим работы энергоблока	Вид перерасхода	Диапазон отклонений значений		
		$\frac{B_{\text{тек}}}{B_{\text{ном}}}, \%*$	$\frac{T_{\text{тек}}}{T_{\text{ном}}}, \%$	$\frac{P_{\text{тек}}}{P_{\text{ном}}}, \%$
«Ночной провал»	$\Delta B_{\Delta x}^N$	1,3...1,7	-1...1,5	5,5...6,5
Набор нагрузки	$\Delta B_{\Delta N}^N$	-0,5...0,6	-1,2...2,2	-2...0,5
Сброс нагрузки	$\Delta B_{\Delta N}^N$	-0,6...0,02	-2...0,6	0,2...0,8

* Отрицательные значения свидетельствуют об экономии, а положительные – о перерасходе топлива.

ВЫВОДЫ

1. Представлена методика, которая при отклонении параметров от номинальных значений учитывает факторы сброса и наборы нагрузки, а также работу при неизменной нагрузке.
2. Анализ работы энергоблока на базе турбины К-215 показал, что в режиме «ночного провала» отклонение давления и температуры острого пара обуславливают перерасход топлива на уровне 1,7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о функционировании электроэнергетики за 2016 год [Электронный ресурс] / ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации. – М., 2017. – 104 с. – URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/4858/71298> (дата обращения: 14.11.2017).
2. Ноздренко Г.В. Эффективность применения в энергетике КАТЕКа экологически перспективных энерготехнологических блоков электростанций с новыми технологиями использования угля: учебное пособие / Новосибирский электротехнический институт. – Новосибирск: НЭТИ, 1992. – 249 с.
3. Дворцовой А.И. Эксергетический анализ влияния параметров регулирования пылеугольных теплофикационных энергоблоков на перерасход топлива: дис. ... канд. техн. наук / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2010. – 144 с.
4. Техничко-экономическая эффективность энергоблоков ТЭС / В.С. Ларионов, Г.В. Ноздренко, П.А. Щинников, В.В. Зыков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 31 с.
5. Андриященко А.И. Показатели эффективности сложных систем энергоснабжения и взаимосвязь между ними // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: материалы Четвертой Российской научно-технической конференции, Ульяновск, 24–25 апреля 2003. – Ульяновск, 2003. – С. 12–14.
6. Андриященко А.И. Методика расчета эксергетической эффективности технологических процессов и производств. – Саратов: СрПИ, 1989. – 151 с.

7. Гориков А.С. Технико-экономические показатели тепловых электрических станций. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
8. Dvortsevoy A., Tikhonov I. Factors affecting the excess fuel flow at thermal power plants // 11 International Forum on Strategic Technology (IFOST 2016): proceedings, Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk: NSTU, 2016. – Pt. 3. – P. 131–135.
9. Щинников П.А., Дворцовой А.И. Анализ влияния параметров регулирования теплофикационных энергоблоков на перерасход топлива // Теплоэнергетика. – 2011. – № 10. – С. 41–44.
10. Тихонов И.А., Дворцовой А.И. Анализ влияния перерасхода топлива на технико-экономические показатели пылеугольных теплофикационных энергоблоков // Электротехника. Электротехнология. Энергетика: ЭЭЭ-2015: сборник научных трудов 7 международной научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 9–12 июня 2015 г.: в 3 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – Ч. 3. – С. 412–415.
11. Щинников П.А., Дворцовой А.И. Анализ влияния параметров регулирования теплофикационных энергоблоков на расход топлива // Проблемы региональной энергетики = Problemele energeticii regionale. – 2011. – № 1 (15). – С. 49–55.
12. Щинников П.А., Новиков С.И., Дворцовой А.И. Влияние параметров регулирования пылеугольных теплофикационных энергоблоков на перерасход топлива // Энергетика и тепло-техника: сборник научных трудов. – Новосибирск, 2009. – С. 37–46.
13. Щинников П.А., Новиков С.И., Дворцовой А.И. Экспериментальный анализ влияния параметров регулирования пылеугольных теплофикационных энергоблоков на перерасход топлива // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 4 (37). – С. 163–169.
14. Автоматизация технологических процессов и производств на ТЭС и управление ими: монография / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, А.И. Михайленко, А.И. Дворцовой, А.В. Сафронов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 291 с. (Монографии НГТУ).
15. Тихонов И.А., Щинников П.А., Дворцовой А.И. Модель расчета перерасхода топлива при различных типах нагрузки // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сборник научных трудов. – Саратов, 2016. – Вып. 8: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и тепло-энергетических комплексов», 01–03 ноября 2016 г., г. Саратов. – С. 150–154.
16. Ноздренко Г.В., Щинников П.А. Использование вычислительного комплекса ОПТЭС для технико-экономических исследований ТЭС // Научный вестник НГТУ. – 2005. – № 1 (19). – С. 51–62.

Тихонов Илья Андреевич, аспирант, ассистент кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – влияние отклонения параметров и изменение нагрузки энергоблоков на расход топлива. Имеет более шести публикаций. E-mail: i.tikhonov@corp.nstu.ru

Дворцовой Александр Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – влияние отклонения параметров на технико-экономические показатели энергоблоков. Имеет 37 публикаций. E-mail: dvorcevoj@corp.nstu.ru

Щинников Павел Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – новые технологии в теплоэнергетике и рациональные сферы их применения. Имеет более 300 публикаций, в том числе 10 монографий. E-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

Овчинников Юрий Витальевич, доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – разработка и исследование новых видов комpositных топлив из угля. Имеет более 80 публикаций, в том числе 4 монографии. E-mail: ovchinnikov@corp.nstu.ru

Томилов Виталий Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – оптимизация режимов работы теплоэнергетического оборудования. Имеет 22 публикаций. E-mail: v.tomilov@corp.nstu.ru

An effect of the power unit parameter deviation on excess fuel consumption components*

I.A. TIKHONOV¹, A.I. DVORTSEVOY², P.A. SHCHINNIKOV³,
U.V. OVCHINNIKOV⁴, V.G. TOMILOV⁵

¹Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, assistant lecturer. E-mail: i.tixonov@corp.nstu.ru

²Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, Ph.D. (Eng.), associate professor. E-mail: dvortsevoj@corp.nstu.ru

³Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor. E-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

⁴Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor. E-mail: ovchinnikov@corp.nstu.ru

⁵Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor. E-mail: v.tomilov@corp.nstu.ru

Thermal power stations operate with constantly changing parameters whose deviations result in excess fuel consumption. In general, fuel consumption rate depends on two factors, namely, generation of energy required by consumers, and the excess fuel consumption caused by deviations from the optimal operating mode. One part of excess fuel consumption depending on load fluctuations caused by switching-over at the electricity consumer end is in fact a pay for energy quality and cannot be reduced. The other part of it depends on the operating mode, the condition and features of the equipment and can be reduced. It is this part of excess consumption that characterizes a possible increase in the station's efficiency in conditions of parameters deviation. A technique for determining a load change criterion is proposed and developed in the paper. The developed methodology was implemented as a separate module for the computer complex "ORTES" created at the Department of Thermal Power Stations, which makes it possible to determine technical and economic parameters of the power unit for the given values of regulated parameters. When using the complex "ORTES" together with the developed additional module, it is possible to determine the value of the excess fuel consumption components depending on load changes and deviation of the parameters. The deviation of parameters is analyzed by dividing the power unit into components that represent a particular functional part and by using methods for determining excess fuel consumption. During the analysis of the night-time off-peak load for the power unit based on the K-215 turbine, as well as dumping and pick-up of the load, excess fuel consumption are obtained depending on the operating modes of the power unit and parameters deviation, such as steam pressure and temperature.

Keywords: excess fuel flow, modes of operation of thermal power equipment, deviation of parameters, method for determining a load change criterion, computer complex "ORTES", night dumping of the load, load change, transient modes

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-153-162

REFERENCES

1. *Otchet o funktsionirovanii elektroenergetiki za 2016 god* [Report on the functioning of the electric power industry for 2016]. FSBI "Russian Energy Agency" Ministry of Energy of the Russian Federation. Moscow, 2017. 104 p. Available at: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/4858/71298> (accessed 14.11.2017).
2. Nozdrenko G.V. *Effektivnost' primeneniya v energetike KATEKa ekologicheskii perspektivnykh energotekhnologicheskikh blokov elektrostantsii s novymi tekhnologiyami ispol'zovaniya uglya* [Efficiency of application in the power engineering of KAFEC of ecologically perspective energy-technological blocks of power stations with new technologies of coal use]. Novosibirsk, NETI Publ., 1992. 249 p.
3. Dvortsevoi A.I. *Eksergeticheskii analiz vliyaniya parametrov regulirovaniya pyleugol'nykh teplofikatsionnykh energoblokov na pereraskhod topliva*. Diss. kand. tekhn. nauk [Exergetic analysis of the effect of the parameters of regulation of pulverized coal-fired power units on fuel overruns. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2010. 144 p.
4. Larionov V.S., Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., Zykov V.V. *Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' energoblokov TES* [Technical and economic efficiency of TPP power units]. Novosibirsk, NSTU Publ., 1998. 31 p.

* Received 05 December 2017.

5. Andryushchenko A.I. [Performance indicators of complex power systems and the relationship between them]. *Energoberezhenie v gorodskom khozyaistve, energetike, promyshlennosti: materialy Chetvertoi Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the Fourth Russian Scientific and Technical Conference "Energy savings in municipal services, energy, industry"], Ul'yanovsk, 2003, pp. 12–14. (In Russian).
6. Andryushchenko A.I. *Metodika rascheta eksergeticheskoi effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv* [Method of calculating the exergy efficiency of technological processes and production]. Saratov, SrPI Publ., 1989. 151 p.
7. Gorshkov A.S. *Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli teplovykh elektricheskikh stantsii* [Technical and economic indicators of thermal power plants]. Moscow, Energiya Publ., 1974. 240 p.
8. Dvortsevoy A., Tikhonov I. Factors affecting the excess fuel flow at thermal power plants. *11 International Forum on Strategic Technology (IFOST 2016): proceedings*, Novosibirsk, 1–3 June 2016, pt. 3, pp. 131–135.
9. Shchinnikov P.A., Dvortsevoy A.I. Analiz vliyaniya parametrov regulirovaniya teplofikatsionnykh energoblokov na pereraskhod topliva [The analysis of the influence of the parameters of the regulation of the heating power units on the fuel overruns]. *Teploenergetika – Thermal Engineering*, 2011, no. 10, pp. 41–44. (In Russian).
10. Tikhonov I.A., Dvortsevoy A.I. [Analysis of the effect of fuel overruns on the technical and economic performance of coal-fired power plant units]. *Elektrotehnika. Elektrotekhnologiya. Energetika: EEE-2015: sbornik nauchnykh trudov 7 mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh* [Electrical engineering. Electrotechnology. Energy. EEE-2015: proceedings of international conference of young scientists], Novosibirsk, 9–12 June 2015, pt. 3, pp. 412–415. (In Russian).
11. Shchinnikov P.A., Dvortsevoi A.I. Analiz vliyaniya parametrov regulirovaniya teplofikatsionnykh energoblokov na raskhod topliva [Analysis of the influence of the parameters of the regulation of the heat-generating power units on fuel consumption]. *Problemy regional'noi energetiki – Problems of the Regional Energetics*, 2011, no. 1 (15), pp. 49–55.
12. Shchinnikov P.A., Novikov S.I., Dvortsevoi A.I. Vliyanie parametrov regulirovaniya pylugol'nykh teplofikatsionnykh energoblokov na pereraskhod topliva [Influence of the parameters of pulverized coal-fired power units on fuel overexpenditure]. *Energetika i teplotekhnika* [Power engineering and heat engineering]. Novosibirsk, 2009, pp. 37–46.
13. Shchinnikov P.A., Novikov S.I., Dvortsevoi A.I. Eksergeticheskii analiz vliyaniya parametrov regulirovaniya pylugol'nykh teplofikatsionnykh energoblokov na pereraskhod topliva [The exergy analysis of regulation parameters influence on fuel over-expenditure for heating power unit on solid fuel]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2009, no. 4 (37), pp. 163–168.
14. Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Mikhailenko A.I., Dvortsevoi A.I., Safronov A.V. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv na TES i upravlenie imi* [Automation of technological processes and production at TPPs and their operation]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 291 p.
15. Tikhonov I.A., Shchinnikov P.A., Dvortsevoi A.I. [Model for calculating fuel overruns for various types of load]. *Problemy sovershenstvovaniya toplivno-energeticheskogo kompleksa. Vyp. 8. Materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Sovershenstvovanie energeticheskikh sistem i teplo-energeticheskikh kompleksov"* [Problems of improving the fuel and energy complex. Iss. 8. Proceedings of the 13th International Scientific and Technical Conference "Improving the energy systems and heat and power systems"]. Saratov, 2016, pp. 150–154. (In Russian).
16. Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A. Ispol'zovanie vychislitel'nogo kompleksa ORTES dlya tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy TES [Using computing complex ORTES for feasibility studies TPP]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2005, no. 1 (19), pp. 51–62.

Для цитирования:

Влияние отклонения параметров энергоблока на составляющие перерасхода топлива / И.А. Тихонов, А.И. Дворцовой, П.А. Щинников, Ю.В. Овчинников, В.Г. Томилов // Научный вестник НГТУ. – 2017. – № 4 (69). – С. 153–162. – doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-153-162.

For citation:

Tikhonov I.A., Dvortsevoy A.I., Shchinnikov P.A., Ovchinnikov Yu.V., Tomilov V.G. Vliyanie otkloneniya parametrov energobloka na sostavlyayushchie pereraskhoda topliva [Influence an effect of the power unit parameter deviation on excess fuel consumption components]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 4 (69), pp. 153–162. doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-153-162.