

УДК 621.311.2 : 532

**А. С. МАЗУРЕНКО**, д-р техн. наук, проф.; зав. каф. ОНПУ, Одесса;  
**В. А. АРСИРИЙ**, д-р техн. наук, проф.; зав. каф. ОГАСА, Одесса;  
**Е. А. АРСИРИЙ**, д-р техн. наук, доц.; проф. каф. ОНПУ, Одесса;  
**В. И. КРАВЧЕНКО**, зам. техн. директора ЗАО «Молдавская ГРЭС», Днестр

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАКТОВ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Рассмотрена возможность увеличения мощности ГТУ за счет совершенствования аэродинамических трактов. Разработан проект и выполнена модернизация тракта окислителя энергоблока ПГУ-250 Молдавской ГРЭС с газовой турбиной ГТ-35, которая показала существенный резерв увеличения мощности за счет снижения противодавления за газовой турбиной, путем корректировки геометрии тракта сброса окислителя от газовой турбины в котел. Совершенствование аэродинамики выполняется физическим моделированием методом визуальной диагностики структуры потоков.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, корректировка аэродинамических трактов, визуализация структуры потоков.

**Ведение.** Парогазовые установки обеспечивают высокую эффективность использования топлива и значительное увеличение КПД работы энергоблоков новых тепловых электростанций. Преимущества использования ПГУ привели к тому, что на сегодняшний день почти 70 % вводимых во всем мире электростанций работают на базе парогазовых установок. Применение парогазовых установок (ПГУ) при строительстве новых тепловых электростанций (ТЭС) показало повышение эффективности использования топлива и значительное увеличение КПД работы энергоблоков ТЭС [1]. На Молдавской ГРЭС находятся в эксплуатации два головных парогазовых энергоблока ПГУ-250 [2].

Анализ работы энергоблоков ПГУ-250 Молдавской ГРЭС показал, что газовая турбина ГТ-35-770 не обеспечивает номинальной мощности  $N_{эл\ ГТ} = 35$  МВт·ч. Ограничение мощности ГТУ-35 составляет более 10 МВт·ч. Кроме того, требует улучшения режим горения топлива в котле из-за неравномерности подачи окислителя на горелки котла.

Большая часть научных исследований параметров работы газотурбинных установок посвящена увеличению начальной температуры перед турбиной. Для снятия ограничения мощности ГТУ-35 нет возможности увеличивать начальные параметры. В статье представлена новая методика по увеличению мощности ГТУ за счет снижения сопротивлений и увеличения эффективности вспомогательных элементов ГТУ. Для разработки реконструкции использовалась новая методика совершенствования проточных частей на основе визуальной диагностики структуры потоков (МВДСП) [3].

Первая реализация новой концепции выполнена в 1997 г. на ТЭС «Браш» (США), где выполнена модернизация входного патрубка ГТУ *Westinghouse-25MW*. Результаты модернизации показали, что за счет снижения сопротивления и соответственно снижения потерь давления входного патрубка компрессора подача воздуха в ГТУ увеличена более чем на 20 % [4, 5]. Для обоснования новой методики увеличения мощности ГТУ за счет снижения сопротивлений второстепенных элементов – входных, выходных участков ГТУ и камеры смешения разработаны

---

© А.С. Мазуренко, В.А. Арсирий, Е.А. Арсирий, В.И. Кравченко, 2015

$t,p,s$ -диаграммы, характеризующие процесс увеличения мощности газовых турбин при умеренных начальных параметрах [4]. В 2011–2013 годах разработаны предложения по увеличению мощности ГТУ-35 энергоблоков ПГУ-250 ЗАО «Молдавская ГРЭС» за счет снижения сопротивлений в тракте сброса газов от ГТ в котел. Модернизация трактов окислителя выполнена на энергоблоке № 11 в 2013 году и на энергоблоке № 12 в 2014 году. Результаты испытаний изменения параметров на энергоблоке № 11 показали существенное влияние геометрии сбросного тракта на мощность ГТУ.

**Анализ схемы подвода окислителя в котел.** Энергоблоки ПГУ-250 Молдавской ГРЭС с газовой турбиной ГТ-35-770 являются головными энергоустановками парогазового типа. Для организации горения топлива в котле ТМЕ-213 используется два варианта подачи окислителя:

1 вариант – в режиме паросиловой установки (ПСУ), когда работает только паровая турбина, подача атмосферного воздуха в котел осуществляется вентиляторами ВДН-25;

2 вариант – в режиме парогазовой установки (ПГУ), когда работают одновременно паровая турбина и газовая турбина, в качестве окислителя в котел ТМЕ-213 подается сбросной газ ГТ-35.

Второй ПГУ – режим работы энергоблока является основным, когда нагнетание воздуха в газовую турбину и далее в котел обеспечивает компрессор К. То есть, атмосферный воздух подается в газовую турбину ГТ, а после ГТУ воздушно-газовая смесь с 16 %-ным содержанием кислорода (окислитель) сбрасывается в котел для обеспечения горения топлива.

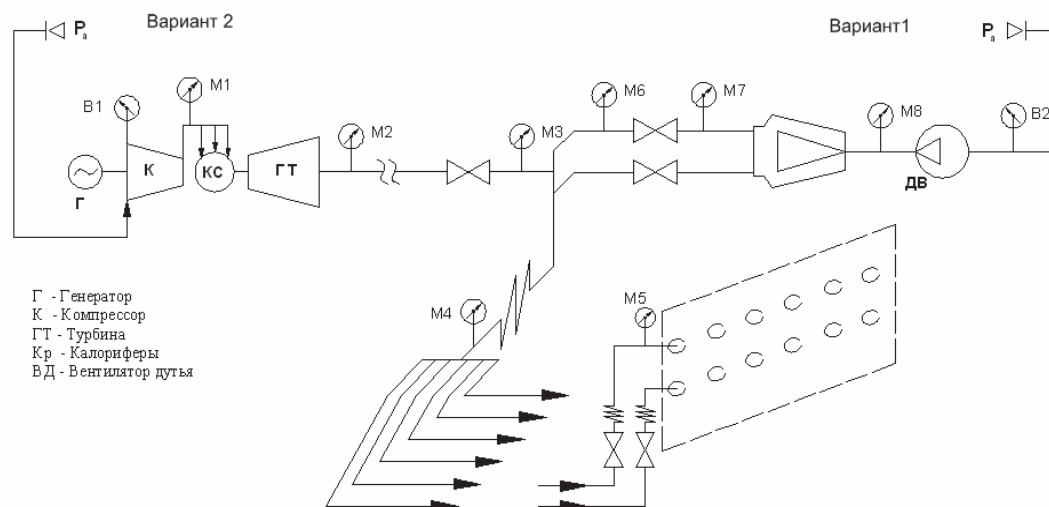


Рис. 1 – Совмещенная схема тракта подвода окислителя в котел парогазовых энергоблоков Молдавской ГРЭС

Анализ совмещенной подачи воздуха от дутьевого вентилятора ВДН-25/2 сброса окислителя от ГТУ показал равноценность двух вариантов работы котла ТМЕ-213. Поэтому, измерение параметров тракта окислителя до и после реконструкции можно выполнять на неработающем энергоблоке с включенными тягодутьевыми механизмами.

**Цель исследования, постановка задачи.** Геометрия проточных частей не учитывает распределение структуры потоков. Зоны отрыва потока от стенок является причиной высоких значений аэродинамических сопротивлений. Целью выполненных исследования является обеспечение безотрывного течения в проточных частях и

снижение аэродинамических сопротивлений и соответственно потерь напора. Выполненные мероприятия в тракте сброса окислителя от ГТУ в котел позволило увеличить тепловой перепад газовой турбины и ее мощности.

**Совершенствование распределительного коллектора.** В техническом задании на выполнение проекта модернизации были поставлены следующие задачи: 1 – для улучшения качества горения топлива уменьшить пульсации в топке; 2 – обеспечить равномерное распределение подачи воздуха (окислителя) к горелкам котла; 3 – для повышения мощности ГТУ увеличить теплоперепад в газовой турбине за счет снижения противодавления после ГТ.

Источником указанных проблем эксплуатации являются зоны отрыва потока окислителя от стенок в элементах тракта сброса окислителя. На рис. 3 представлен результат визуальной диагностики структуры потока окислителя в модели раздаточного коллектора.

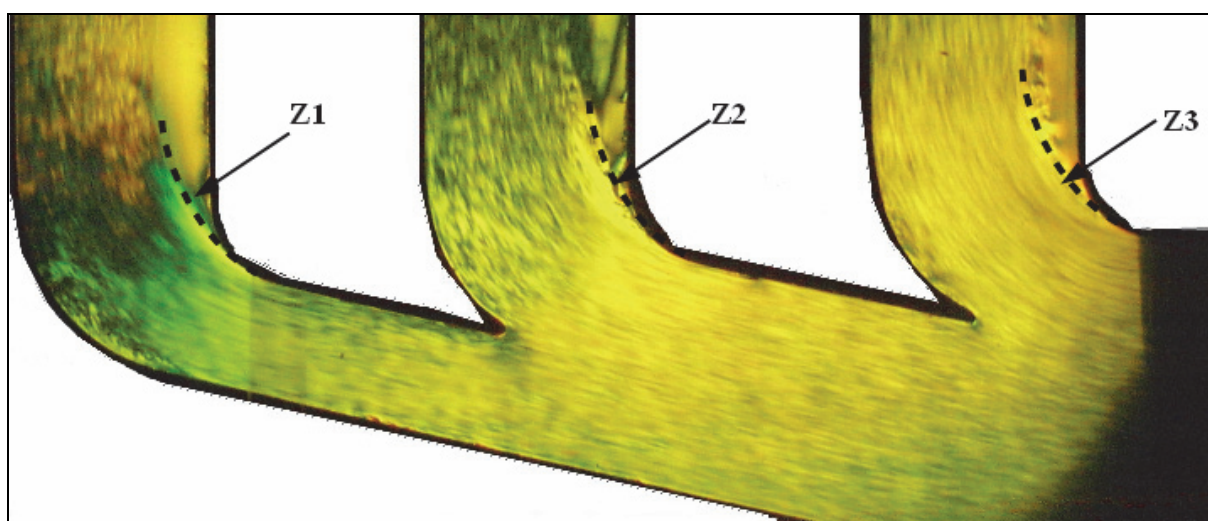


Рис. 2 – Структура потока в распределительном коллекторе:  
Z1, Z2, Z3 – зоны отрыва потока от стенок коллектора

На рис. 2 показаны результаты визуальной диагностики структуры потока в физической модели коллектора распределения воздуха по горелкам. Из шести отводов на горелки для исследований представлены только три отвода. Использование трех отводов для выполнения визуальной диагностики структуры потока не меняет характера распределения подачи воздуха (окислителя) к горелкам. Зоны отрыва потока от стенок показывают причины высоких сопротивлений и возникновения пульсаций [3]. Анализ визуальной диагностики структуры потока позволил разработать рекомендации не только по устранению зон отрыва, но и обеспечить равномерное распределение воздуха из коллектора на горелки котла.

На рис. 3 пунктирными линиями показана геометрия старой проточной части коллектора. Сплошные линии и новые значения радиусов поворота потока показывают новую геометрию коллектора с меньшими аэродинамическими сопротивлениями.

Испытания тракта окислителя ПГУ-250 показали, что снижение сопротивлений в двух элементах совмещенного участка позволили снизить потери напора в номинальном режиме на 30 мм.в.ст. или на 15 %. В режиме ПГУ снижение противодавления за ГТ-35 позволило увеличить мощность ГТУ на 0,5 МВт. В режиме ПСУ снижение сопротивлений и соответственно потерь напора позволило уменьшить потребление электроэнергии дутьевого вентилятора ВДН-25/2 на 0,14 МВт.

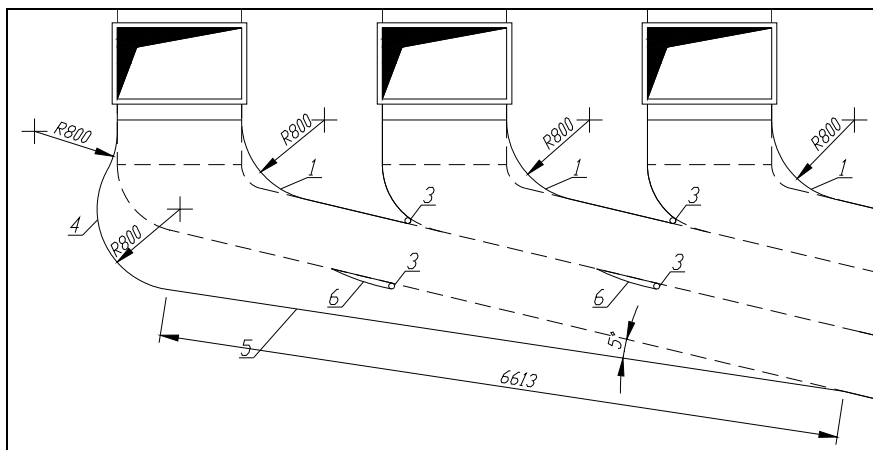


Рис. 3 – Распределительный коллектор подачи окислителя к горелкам котла до и после модернизации:  
 1 – 6 – элементы распределительного коллектора; --- старая геометрия коллектора;  
 ——— новая геометрия коллектора

**Выводы.** Проведение модернизации элементов аэродинамического тракта энергоблока ПГУ-250 с целью снижения аэродинамических сопротивлений позволило увеличить мощность газовой турбины, а также улучшить параметры тракта сброса окислителя от ГТУ-35 до горелок котла ТМЕ-213.

Анализ изменения параметров «выходных» элементов газовых турбин показал хорошие перспективы. Не меняя проточных частей сложных элементов компрессора и турбины, а только за счет изменения геометрии и снижения потерь напора «выходных» элементов ГТУ можно увеличить мощность газовых турбин, улучшить их энергетические, стоимостные, габаритные и другие характеристики.

**Список литературы:** 1. *Мацевитый, Ю. М.* О развитии энергомашиностроительного комплекса Украины до 2030 года [Текст] / Ю. М. Мацевитый, В. Н. Голошапов // Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання : зб. наук. праць. – Харків : Ін-т проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, 2003. – Т. 1. – С. 6–11. 2. *Тепловые электрические станции* [Текст] / В. Я. Рыжкин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 328 с. 3. *Pat. PCT/US94/14890. G06G 7/57, F15D 1/02. Method of restricted space formation for working media motion* [Text] / Maisotsenko V. S., Arsirov V. A. – Publ. 06.07.1995. 4. *Мазуренко, А. С.* Повышение эффективности турбинных установок за счет совершенствования проточных частей [Текст] / А. С. Мазуренко, В. А. Арсирий // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ» : сб. науч. трудов. – 2005. – № 6. – С. 39–43. 5. *Мазуренко, А. С.* Совершенствование проточных частей оборудования ТЭС на основе структуры потоков в физических моделях [Текст] / А. С. Мазуренко, В. А. Арсирий // Труды Межд. научно-техн. конференции «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования». – Харьков, 2003. – С. 420–424.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Macevityj, Ju. M., and V. N. Goloshhenko.* "O razvitii jenergomashinostroitel'nogo kompleksa Ukrainy do 2030 goda." *Udoskonaljuvannja turboustanovok metodamy matematychnogo i fizychnogo modeljuvannja*. No 1. Kharkov : In-t problem mashynobuduvannja im. A.M. Pidgornogo NAN Ukrai'ny, 2003. 6–11. Print. 2. *Ryzhkin, V. Ja.* *Teplovyje jelektricheskie stancii*. Moscow : Jenergoatomizdat, 1987. Print. 3. *Maisotsenko, V. S., and V.A. Arsirov.* "Method of restricted space formation for working media motion." Patent. PCT/US94/14890. G06G 7/57, F15D 1/02. 06 July 1995. 4. *Mazurenko, A. S., and V. A. Arsirov.* "Povyshenie jeffektivnosti turbinyh ustanovok za schet sovershenstvovanija protochnyh chastej." *Jenergeticheskie i teplotehneskie processy i oborudovanie*. Vestnik NTU "KhPI". No 6. Kharkov : NTU "KhPI", 2005. 39–43. Print. 5. *Mazurenko, A. S., and V. A. Arsirov.* "Sovershenstvovanie protochnih chastej oborudovanija TJeS na osnove struktury potokov v fizicheskikh modeljah." *Trudy Mezhd. nauchno-tehn. konferencii "Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovanija"*. Kharkov, 2003. 420–424. Print.

Поступила (received) 16.02.2015