

5. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (с изм. от 10 июля 2012 г. №117-ФЗ).
6. *Кельцев Н.В.* Основы адсорбционной техники. – М.: Мир, 1984. – 592 с.

Статью рекомендовал к опубликованию профессор Б.И. Булгаков.

Покровская Елена Николаевна – ИФО ФГБОУ ВПО «МГСУ»; e-mail: elenapokrovskaya@bk.ru; 129377, Москва, Ярославское шоссе, 26; тел.: 84956846864; кафедра общей химии; д.т.н.; профессор.

Портнов Федор Александрович – e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com; тел.: 89169146424; кафедра комплексной безопасности в строительстве; аспирант.

Корольченко Дмитрий Александрович – e-mail: da-vip@mail.ru; тел.: 84957352813; кафедра комплексной безопасности в строительстве; зав. кафедрой; к.т.н.; доцент.

Кобелев Артём Александрович – Академия ГПС МЧС России; e-mail: artemkobelev@gmail.com; 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; тел.: 84956172611; кафедра пожарной безопасности в строительстве; к.т.н.; преподаватель.

Pokrovskaya Elena Nikolaevna – Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia; e-mail: elenapokrovskaya@bk.ru; 26, Yroslavskoe shosse, Moscow, 129377, Russia; phone: +74956846864; the department of general chemistry; dr. of eng. sc.; professor.

Portnov Fyodor Aleksandrovich – e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com; phone: +79169146424; the department of integrated safety in construction; postgraduate student.

Korolchenko Dmitriy Aleksandrovich – e-mail: da-vip@mail.ru; phone: +74957352813; the department of integrated safety in construction; head of department; cand. of eng. sc.; associate professor.

Kobelev Artem Aleksandrovich – State Fire Service Academy of Emercom RF, Moscow, Russia; e-mail: artemkobelev@gmail.com; 4, Borisa Galushkina street, Moscow, 129366, Russia; phone: +74956172611; the department of fire safety in construction; cand. of eng. sc.; lecturer.

УДК 620.1.08: 621.18.08: 614

М.Ю. Сербиновский, А.В. Алтынов, М.В. Алтынова, Н.Е. Алтынова

СТЕНД ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

Создан стенд, позволяющий проводить высокотемпературные (до 1200 °С) испытания материалов и покрытий на длительную термическую стойкость, трещиностойкость и стойкость к отслаиванию в скоростном газовом потоке, при свободном или заданном короблении образца; на стойкость к вибрациям и стабильность теплотехнических параметров при конвективном и радиационном нагреве, на отражающую способность поверхности образцов при радиационном нагреве, на износостойкость образцов при высокой температуре в заданной газовой среде с высоким содержанием абразивных частиц. Кроме того, оценивается коэффициент теплопроводности λ . Испытания проводятся при заданной скорости нагрева и охлаждения, в том числе в условиях термоудара. Стенд включает устройство, моделирующее условия работы материалов и покрытий в системе пылеугольной топливоподачи энергетических котлов.

Стенд предназначен для испытаний материалов и покрытий энергетических котлов и может быть использован для испытаний строительных материалов и покрытий и материалов и покрытий коммунального хозяйства.

Испытательный стенд; высокотемпературные испытания материалов; покрытия; термическую стойкость; конвективный нагрев; радиационный нагрев

M.Y. Serbinovskiy, A.V. Altynov, M.V. Altynova, N.E. Altynova

**STAND FOR MATERIALS AND COATINGS TESTING
AT HIGH TEMPERATURE**

Testing stand allowing you to carry out high-temperature (up to 1200°C) materials and coatings tests is created. The range of tests include long heat resistance test, crack resistance and peel strength in high-speed gas flow test at free or prescribed sample warping, resistance to vibration test and thermal stability parameters at convective and radiant heating, reflective surfaces characteristics test of samples at radiant heating, wear resistance test of samples at high temperature in a predetermined gas medium having a high content of abrasive particles. Thermal conductivity index λ is also measured. Tests are conducted at prescribed heating and cooling rate and available test conditions include thermal shock. The stand also includes a device that simulates operating conditions for materials and coatings in pulverized coal fuel power boilers.

The stand is intended to be used for testing different materials and coatings of power boilers as well as for tests on construction and utilities materials and coatings.

Test stand; high-temperature materials testing; coating; heat resistance; convective heat; radiant heating.

В настоящее время широкое распространение получают огнезащитные, теплоизоляционные и другие композиционные материалы и покрытия различного назначения для работы в условиях высокой температуры, тепловой радиации и тому подобное. Одними из объектов применения таких материалов и покрытий являются котельные агрегаты, однако использование многих перспективных материалов в этой области техники до сих пор ограничено. Основные причины этого: 1) комплекс жестких требований, которым должны соответствовать покрытия; 2) необходимость проведения ресурсных испытаний при имитации работы покрытий в различных эксплуатационных условиях: изменяющейся температуре, радиационному и конвективному воздействию тепла при одновременном воздействии высокоскоростного газового потока с достаточно высоким содержанием химически активных веществ и абразивных твердых частиц (скорость газопылевого потока до 15 м/с) и т.д. При этом защищаемый металл может подвергаться короблению и воздействию вибраций. До настоящего времени испытательным стендом, реализующим необходимый комплекс испытаний, видимо, не располагало ни одно предприятие или исследовательское учреждение в России. Необходимо отметить, что классические исследования теплотехнических свойств материалов обычно построены так, чтобы исключить комплексное влияние различных факторов на измеряемые величины, предназначены для исследования свойств и определения характеристик веществ либо достаточно однородных смесей, объемы исследуемых образцов в большинстве случаев невелики [1–3]. На практике, напротив, чаще всего мы сталкиваемся с комплексным воздействием различных факторов на элементы конструкций, которые имеют значительно большие объемы (на порядок и более), состоят из разнородных частей. Таковыми являются теплоизоляционные элементы конструкции и защитные покрытия котлоагрегатов. Поэтому создание испытательного стенда для комплексных испытания защитных высокотемпературных материалов и покрытий актуально. Необходимо также отметить, что предприятия России, выпускающие теплоизоляционные материалы, материалы для теплозащитных покрытий и т.д. не имея подобного испытательного оборудования, указывают в сертификатах ряд теплотехнических параметров не данной партии, а параметры, периодически получаемые в испытательных лабораториях сторонних организаций. Соответственно возникают отклонения параметров котельных агрегатов от расчетных.

Целью данной работы было создание испытательного стенда, который обеспечивает комплексные испытания защитных высокотемпературных покрытий (жаростойких, теплоизоляционных, износостойких и др.) в различных условиях внутреннего пространства энергетических котлов, а также позволяет проводить выбор материалов и покрытий, отработку их составов и технологии использования в котельном производстве.

Основными задачами, решаемыми в ходе создания стенда, были: 1) формулирование комплекса требований, которым должен соответствовать стенд; 2) определение состава стенда; 3) разработка конструкции стенда в целом и конструкции его составных частей; 4) изготовление, наладка и ввод в эксплуатацию стенда.

Работа по созданию стенда для высокотемпературных испытаний защитных, теплоизоляционных, износостойких материалов и покрытий была выполнена ООО фирма «Паскаль» для конструкторско-наладочного испытательного подразделения Инжинирингового центра «Энергомашиностроительный Альянс» (ИЦ «ЭМАльянс») и открытого акционерного общества Таганрогский котлостроительный завод «Красный Котельщик» (ОАО ТКЗ «Красный Котельщик»).

Как отмечено выше, к покрытиям панелей и других элементов внутреннего пространства энергетических котлов средней и высокой мощности предъявляется комплекс жестких требований, которые редко встречаются в других областях техники. Это: 1) низкая теплопроводность ($\lambda=0,01\pm 0,03$ Вт/(м·°С)) и по возможности высокий коэффициент отражения теплового излучения; 2) высокая термическая стойкость, стойкость к радиационному нагреву; 3) стойкость к растрескиванию при различных тепловых режимах (в широком диапазоне температуры): а) при высокой рабочей температуре вследствие различия коэффициентов линейного расширения покрытия и материала покрываемой поверхности, б) при одностороннем нагреве или охлаждении покрытия (например, стенка топки), в) при быстром изменении температуры топочного пространства или отдельных участков котельного агрегата (неравномерность нагрева отдельных частей покрытия), г) нижний предел температуры – 50 °С (при транспортировке элементов котла); 4) стойкость к отслаиванию, в том числе при вибрациях: покрытия должны иметь высокое и стабильное сцепление с покрываемой поверхностью, т.е. обладать высокой адгезией к покрываемой поверхности; 5) высокая химическая устойчивость к котельным газам (например, к оксидам серы) и частицам золы; 6) пониженная адгезия к частицам золы; 7) высокая долговечность (сотни тысяч часов), в том числе высокая износостойкость при высокой температуре (до 1000 °С) в условиях высокого содержания абразивных частиц в газовом потоке (до 20 кг/м³ для стенок циклонов котлов с ЦКС) внутреннего пространства котла, пылевоздушной смеси низкой или высокой концентрации в системах топливоподачи; 8) технологичность; 9) ремонтпригодность и, наконец, 10) низкая стоимость. Особую роль для защитных материалов и покрытий котельных агрегатов играют следующие свойства: высокая температура плавления (термического разложения) и способность не деградировать при длительном воздействии высокой температуры; возможно более близкий к покрываемому материалу коэффициент теплового расширения; достаточно высокая и стабильная прочность (для покрытий адгезионная и когезионная прочность).

Трудность реализации в одном испытательном агрегате всех требований к составу и параметрам испытаний привело к вынужденному решению: блочной конструкции стенда, т.е. стенду в виде отдельных блоков, объединенных единой системой управления и сбора информации.

В результате стенда был выполнен в составе из четырех основных блоков:

- ♦ блок 1 для испытаний образцов в условиях высокотемпературного скоростного газового потока;

- ◆ блок 2 для испытаний образцов на стойкость к радиационному тепловому нагреву и влияния состава материала или покрытия на отражающую способность поверхности;
- ◆ блок 3 для испытаний образцов в условиях конвективного нагрева;
- ◆ блок 4 для испытаний образцов на износостойкость покрытий при высокой температуре в заданной газовой среде с высоким содержанием зольных абразивных частиц.

Кроме того, стенд имеет дополнительное устройство, моделирующее условия работы покрытий в системе пылеугольной топливоподачи. Для испытаний элементов теплоизоляции и других материалов для котельных агрегатов блоки имеют сменные элементы конструкции, реализующие необходимые испытания.

Блок 1 имеет замкнутый канал, в котором циркулирует нагретый газ. Заданную скорость газового потока обеспечивает центробежный вентилятор, который установлен перед печью для нагрева газа с электрическими нагревателями сопротивления. Далее на том же прямом участке канала по ходу движения газового потока расположена испытательная камера с каналом прямоугольного сечения. Температура газа контролируется на входе и выходе испытательной камеры. После прохождения испытательной камеры нагретый газ возвращается по соответствующему участку канала к вентилятору. При этом обратный участок снабжен водяным теплообменником для снижения температуры газа перед вентилятором и трубопроводами для подвода модельного газа и отвода его избытка. В стенке канала имеются уплотняемые окна для зонда-крыльчатки, измеряющего скорость газового потока, и для трубок дифференциального манометра. Для повышения скорости газового потока непосредственно в испытательной камере предусмотрена установка специальных вставок регулирующих площадь сечения канала в камере. Газовая среда – воздух или модельный газ, имитирующий газовую среду в топке котла, который подается из отдельного газогенератора.

На дне испытательной камеры блока 1 последовательно расположены пять площадок для установки плоских образцов размером в плане 80×80 мм. Каждая площадка представляет собой торцевую грань прямоугольного стального параллелепипеда (призмы), в котором установлены две термопары: одна у верхней грани в непосредственной близости к образцу, а вторая – у нижней грани. Расстояния между спаями термопар известны для каждой призмы, соответственно можно определить тепловой поток вдоль оси призмы. Призмы термоизолированы друг от друга.

Кроме того, испытательная камера снабжена краевыми упорами для образцов размером в плане 80×80 мм и керамическим штоком для придания образцу заданной деформации или передачи вибраций. Нагружение образца производится по схеме двухопорной балки с нагружающим штоком в середине пролета.

Наконец, верхняя съемная стенка испытательной камеры может быть заменена блочной секцией, моделирующей участок теплоизоляции котлоагрегата. Например, участок изоляционной панели газохода котла-утилизатора. Такие модели позволяют оценить качество волокнистой теплоизоляции панелей и качество принятых конструкторских решений.

Блок 1 позволяет испытывать образцы материалов или образцы с покрытиями: размером 80×80 мм, толщиной 1–30 мм и размером 440×120 мм, толщиной 1–4 мм. Температура в зоне испытаний до 1100 °С, скорость газового потока до 15 м/с, газовая среда: воздух или имитирующая среду в котле, длительность непрерывной работы конструктивно не ограничена. Состав испытаний: на длительную термическую стойкость, трещиностойкость и стойкость к отслаиванию в скоростном газовом потоке и при свободном или заданном короблении образца; на стойкость к вибрациям и стабильность теплотехнических параметров в скоростном

газовом потоке. Кроме того, оценивается коэффициент теплопроводности λ . Система управления позволяет производить испытания при заданной скорости нагрева (до 30 °С мин) и охлаждения (до 30 °С мин), ступенчатым изменении температуры, а также при ударном нагреве и охлаждении со скоростью до 600 °С в мин.

Блок 2 представляет собой печь в виде поднимающегося прямоугольного колокола и неподвижного пода, на котором размещаются образцы испытываемых материалов и покрытий. Потолок печи снабжен открытыми силитовыми нагревателями, излучение которых направлено на под печи. На поде в два ряда расположены шесть площадок для установки плоских образцов размером в плане 80×80 мм. Площадки – торцевые грани прямоугольных стальных параллелепипедов (призм), в которых установлены по две термопары, аналогично термопарам призм блока 1. На под может быть установлен больший образец с размерами в плане 320×220 мм. Кроме управляющей термопары, имеется дополнительная контрольная термопара в центре пода, которая при испытаниях большого образца используется для фиксации температура нижней поверхности образца.

Блок 2 имеет устройство для подъема верхней части печи (колокола), а также специальную вставку между подом и колоколом, которая ставится при испытаниях материалов и покрытий на тепловой удар. Потолок верхней части имеет шесть отверстий с термоизоляционными заглушками, которые используются для замеров температуры поверхности образцов с помощью пирометра.

Блок 2 позволяет испытывать образцы материалов или образцы с покрытиями: размером 80×80 мм, толщиной 1–30 мм и размером 320×220 мм, толщиной 1–4 мм. Температура в зоне испытаний до 1200 °С, газовая среда: воздух или имитирующая среду в котле, длительность непрерывной работы конструктивно не ограничена. Состав испытаний: на стойкость к радиационному тепловому нагреву и влияния состава материала или покрытия на отражающую способность поверхности материалов и покрытий; трещиностойкость и стойкость к отслаиванию в условиях радиационного теплового нагрева; на стабильность теплотехнических параметров при радиационном нагреве. Кроме того, производится оценка теплопроводности λ при радиационном нагреве образцов.

Блок 3 представляет собой шахтную печь с поднимающейся крышкой (потолком). Образцы испытываемых материалов и покрытий размещаются на площадках под печи. Электрические нагреватели сопротивления печи размещены в пазах вертикальных стенок и не воздействуют прямым радиационным тепловым излучением на образцы. На поде в два ряда расположены шесть площадок для установки плоских образцов размером в плане 80×80 мм. Площадки – торцевые грани прямоугольных стальных параллелепипедов (призм) снабженные термопарами, аналогично призмам блоков 1 и 2. На под может быть установлен больший образец с размерами в плане 530×200 мм. Кроме управляющей термопары, имеется дополнительная контрольная термопара в центре пода, которая при испытаниях большого образца используется для фиксации температура нижней поверхности образца.

В нижней части испытательной камеры печи имеются упоры для образцов размером в плане 530×200 мм и керамический штоком для придания образцу заданной деформации или передачи вибраций. Нагружение образца, аналогично устройству блока 1, производится по схеме двухопорной балки с нагружающим штоком в середине пролета.

Верхняя съемная крышка печи может быть заменена блочной секцией, моделирующей участок теплоизоляции котлоагрегата. Такие модели позволяют испытывать волокнистые и пористые теплоизоляции, оценивать конструкторские решения, принятые при проектировании панелей.

Блок 3 позволяет испытывать образцы материалов или образцы с покрытиями: размером 80×80 мм, толщиной 1–30 мм и размером 530×200 мм, толщиной 1–4 мм. Температура испытаний до 1100 °С, газовая среда: воздух или имитирующая среду в котле, длительность непрерывной работы конструктивно не ограничена. Состав испытаний: на длительную термическую стойкость, трещиностойкость и стойкость к отслаиванию в условиях конвективного нагрева и при свободном или заданном короблении образца, на стабильность теплотехнических параметров в условиях длительного конвективного нагрева; на стойкость к вибрациям в условиях конвективного нагрева. Кроме того, оценивается коэффициент теплопроводности λ . Система управления позволяет производить испытания при заданной скорости нагрева (до 30 °С в мин) и охлаждения (до 30 °С в мин), ступенчатом изменении температуры, а также при ударном охлаждении со скоростью до 300 °С мин.

Блок 4 для испытаний образцов на износостойкость покрытий при высокой температуре в заданной газовой среде с высоким содержанием абразивных частиц состоит из двух устройств с вертикальной и горизонтальной осью вращения роторов с образцами, что позволяет реализовать практически все условия износа различных частей котлоагрегатов.

Устройство с вертикальной осью вращения ротора представляет собой цилиндрическую шахтную печь с электрическими нагревателями сопротивления и цилиндрической испытательной камерой со стальными стенками и крышкой. Через нижний торец камеры введен вал сменного ротора для размещения двух образцов размером 60×60 мм и толщиной 3–10 мм. Используются плоские образцы и образцы с радиусом кривизны не менее 60 мм. Привод ротора регулируемый. Ротор имеет специальные выступы для перемешивания и завихрения пылегазовой среды внутри испытательной камеры. Содержание пылевой фракции определяется заданной массой пыли, вводимой в камеры перед испытанием. Условия испытаний: содержание пылевых абразивных частиц от 0 до 200 кг/м³, линейная скорость средней части образцов до 19 м/с, температура в зоне испытаний до 1100 °С, газовая среда – воздух или имитирующая среду в котле; длительность непрерывной работы конструктивно не ограничена.

Устройство с горизонтальной осью вращения ротора представляет собой соответственно горизонтально ориентированную цилиндрическую печь с электрическими нагревателями сопротивления и цилиндрической испытательной камерой со стальными стенками и крышкой в одном из торцов камеры. Через другой торец камеры введен вал со сменным ротором для размещения от двух до восьми образцов размером 60×60 мм и толщиной 3–10 мм. Используются плоские образцы и образцы с радиусом кривизны не менее 40 мм. Привод ротора регулируемый. Содержание пылевой фракции определяется заданной массой пыли, вводимой в камеры перед испытанием. Условия испытаний: содержание пылевых абразивных частиц от 0 до 200 кг/м³, линейная скорость средней части образцов до 22 м/с, температура в зоне испытаний до 400 °С, газовая среда – воздух или модельные среды; длительность непрерывной работы конструктивно не ограничена.

Устройство, моделирующее условия работы материалов и покрытий в системе пылеугольной топливоподачи, представляет собой замкнутый трубопровод с нагревательными элементами и центробежным вентилятором, включающий четыре прямых участка и четыре колена с фланцевыми соединениями. На прямых участках и коленах устанавливаются разъемные образцы с покрытиями. Скорость движения пылевоздушной смеси по трубопроводу регулируемая – до 30 м/с, температура в трубопроводе до 400 °С.

Отметим, что блоки и устройства стенда имеют как индивидуальные системы управления, так и общую систему управления, сбора и обработки информации с использованием персонального компьютера. В основе общей системы управления, сбора и обработки информации использовано устройство измерительно-управляющее УИУ 2002 производства НПП «ПАРК-ЦЕНТР» г. Санкт-Петербург.

Результаты опытной эксплуатации показывают, что стенд позволяет:

- ◆ испытывать материалы и покрытия для элементов конструкции котлоагрегатов в условиях комплексного воздействия различных физических факторов и различных режимах нагрева и охлаждения;
- ◆ проводить ресурсные испытания материалов и покрытий;
- ◆ отбирать и обосновывать технические решения, повышающие теплового сопротивления теплоизоляционных панелей котлов-утилизаторов и газоходов угольных и газо-мазутных котлов;
- ◆ отбирать защитные покрытия, предотвращающие окалинообразование на поверхности стальных элементов конструкции, обосновывать замену дорогостоящих высоколегированных сталей;
- ◆ выявлять технические решения, повышающие работоспособности и долговечности элементов конструкции котла;
- ◆ выбирать и совершенствовать износостойкие защитные покрытия для различных элементов конструкции котла (топливоподачи, пылеугольных горелок, циклонов котлов с циркулирующим кипящим слоем и др.);
- ◆ совершенствовать составы высокотемпературных покрытий разного назначения и технологии их нанесения;
- ◆ проводить регулярных контрольных испытаний материалов, покрытий и их компонентов используемых в производстве.

Практика использования стенда свидетельствует, что он может быть использован для исследований и испытаний термостойкости и пожароопасности различных материалов и покрытий, а также испытывать защитные противопожарные покрытия. При этом можно задавать различные режимы теплового воздействия на образцы, в том числе с одновременным воздействием скоростного воздушного потока и заданным содержанием кислорода. Кроме того, стенд может быть использован для исследования и испытания теплоизоляционных покрытий широкого назначения, которые применяются в строительстве и коммунальном хозяйстве. В последнем случае испытания дают более пригодные для практического использования данные о теплостойкости, долговечности, теплотехнических и других характеристик материалов и покрытий.

Таким образом, создан стенд, позволяющий проводить комплексные высокотемпературные исследования и испытания материалов и покрытий, как для использования в котлостроении, так и в строительстве и коммунальном хозяйстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С.* Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 460 с.
2. *Назаров В.И., Чиж В.А., Буров А.Л.* Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Изд-во «Техноперспектива», 2008. – 176 с.
3. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник в 4 книгах. Кн. 2 / Под ред. А. Клименко, В. Зорина. – М.: Изд-во: МЭИ, Серия: Теплоэнергетика и теплотехника, 2007. – 562 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Л.П. Милешко.

Сербиновский Михаил Юрьевич – Открытое акционерное общество «ЭнергоМашиностроительный Альянс» (ОАО «ЭМАльянс»), г. Таганрог; e-mail: serb-m@mail.ru, Serbinovskiy_MY@tkz.power-m.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Ленина, 220; тел.: 88634371635; ведущий специалист отдела диагностики и стендовых испытаний; профессор кафедры летательных аппаратов Южного федерального университета; д.т.н.

Алтынов Александр Владимирович – Общество с ограниченной ответственностью фирма «Паскаль» г. Новочеркасск; e-mail: altunov@mail.ru; 346411, г. Новочеркасск, ул. Щорса, 178, тел.: +78635245354, 89286084400; главный конструктор.

Алтынова Наталья Евгеньевна – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)» (ЮРГТУ (НПИ)), г. Новочеркасск; e-mail: altunov@mail.ru; 346400, г. Новочеркасск, Ростовская область, ул. Просвещения, 132; тел.: +78635224641; кафедра тепловых электрических станций; к.т.н.; доцент.

Алтынова Марина Владимировна – e-mail: marinaall976@mail.ru; тел.: +79286061334; кафедра тепловых электрических станций; старший преподаватель.

Serbinovskiy Mikhail Yurevich – Open Joint Stock Company «EnergoMachinostroitelny Alliance» (OJSC «EMAlliance»), Taganrog; e-mail: serb-m@mail.ru, Serbinovskiy_MY@tkz.power-m.ru; 220, Lenina street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371635; leading specialist of the department of diagnostic and durability test bench engineering centre of OJSC EMAlliance; professor of department of aircraft Southern Federal University; dr. of eng. sc.

Altinov Alexander Vladimirovich – Limited Liability Company "Pascal", NovoCherkassk; e-mail: altunov@mail.ru; 178 Schorsa street, NovoCherkassk, 346411, Russia; phone: +78635245354, +79289048213; chief designer.

Altinova, Nataliya Evgenievna – State Educational Institution of Higher Professional Education «South-Russia State Technical University (NovoCherkassk Polytechnic Institute)» (SRSTU (NPI)), NovoCherkassk; e-mail: altunov@mail.ru; 132 Prosvescheniya street., NovoCherkassk, 346428, Russia; phone: +78635224641; the department of thermal power plants; cand. of eng. sc.; associate professor.

Altinova, Marina Vladimirovna – e-mail: marinaall976@mail.ru; phone: +79286061334; the department of thermal power plants; senior lecturer.

УДК 539.232:546.831

Д.В. Сергиенко, В.В. Петров, Т.Н. Мясоедова, Н.К. Плуготаренко

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ
НА ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ СОСТАВА
 SiO_2ZrO_x**

Исследованы параметры морфологии поверхности и электрофизические характеристики тонкопленочных образцов состава SiO_2ZrO_x . Показано, что при увеличении доли атомов циркония в исходном растворе величина среднеквадратичной шероховатости, оцененная с помощью программы Image Analysis, увеличивается. Измерены величины поверхностных сопротивлений (R) образцов материала. Установлено, что при увеличении шероховатости поверхности материала происходит уменьшение значений поверхностного сопротивления с 500 до 50 кОм и увеличение коэффициента газовой чувствительности. Разброс значений фрактальной размерности поверхности, оцененной в программе Gwyddion, находится в диапазоне 1,97–2,47. Интерпретация дробной размерности заключается в