

ISSN 1998-9903

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ*

# ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

9-10

2017





# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

№ 9-10

сентябрь-октябрь 2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1999 ГОДА

## СОДЕРЖАНИЕ

ИВАНИЦКИЙ М.С. Моделирование влияния температурного уровня в зоне активного горения на содержание оксидов азота и бенз(а)пирена в продуктах сгорания котельных установок систем теплоснабжения. Часть 2. Горение мазута в водогрейном котле КВ-ГМ-100(116,3/150) .....	3
ДОЛЖИКОВ А.С., МОГОРЫЧНЫЙ В.И. Экспериментальный стенд для исследования процесса кипения смесей, используемых в низкотемпературной технике. ...	11
ГАФУРОВ А.М., ОСИПОВ Б.М., ГАТИНА Р.З., ГАФУРОВ Н.М. Возможные пути снижения выбросов углекислого газа. ....	21
КОРОБЕЙНИКОВ С.М., ЛЮТИКОВА М.Н. Методы контроля влагосодержания жидких диэлектриков. Состояние и проблемы .....	32
САЛТАНАЕВА Е.А., ТАЙМАРОВ М.А., АХМЕТОВА Р.В., СУНГАТУЛЛИН Р.Г., АЛЬ ЗУБАЙДИ АЛИ НАЛИБ САЛИХ Тепловые потоки от факела в котлах с различной компоновкой горелок. ....	50
ГАРИФУЛЛИН М.Ш., ГИНИАТУЛЛИН Р.А., КОЗЛОВ В.К., РЕЗАТДИНОВ Р.Л., РИЗВАНОВА Г.И. Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам .....	59
АНТОНОВ А.И. Исследование уровня электромагнитных помех в сети 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами различной мощности при несимметричном характере нагрузки. ....	65
НЕПША Ф.С., ГЛУШКОВА А.И., ВОРОБЬЕВА Д.Ю. К вопросу обеспечения правильной работы устройств автоматической частотной разгрузки в Кузбасской энергосистеме. ....	77
АФАНАСЬЕВА О.В., ГАЛЬКЕЕВА А.А., ВАФИН А.Р., МИНГАЛЕЕВА Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики. ....	85
ХВОРЕНКОВ Д.А., ВАРФОЛОМЕЕВА О.И., КОРЕПАНОВ Е.В. Расчет температурно-влажностного режима стенок кирпичных и железобетонных дымовых труб. ....	94

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

ДМИТРИЕВА О.С., ЛОРАЙ С.Ф., ЗИНУРОВ В.Э., ЗВЕРЕВА Э.Р., ШАГЕЕВ М.Ф. Определение оптимальных зон ввода твердых присадок в воздуховод котла. ....	106
---	-----

### ФИЗИКА

ГУБАЙДУЛЛИН Д.А., ОСИПОВ И.П., АЛЬМАКАЕВ И.М. Моделирование	
---	--



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 697.326:62-61

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗОН ВВОДА ТВЕРДЫХ ПРИСАДОК В ВОЗДУХОВОД КОТЛА

О.С. Дмитриева<sup>1</sup>, С.Ф. Лорай<sup>2</sup>, В.Э. Зинуров<sup>1</sup>, Э.Р. Зверева<sup>1</sup>, М.Ф. Шагеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Военное представительство МО РФ, г. Казань, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6221-0167>, [ja\\_deva@mail.ru](mailto:ja_deva@mail.ru)

*Резюме:* От качества мазута существенно зависят условия работы основного и вспомогательного оборудования ТЭС. В статье рассматривается проблема улучшения процесса горения мазута и связывания образующихся при его сжигании оксидов серы за счет ввода присадок. Смоделирована часть воздуховода котла до горелок, куда вводятся частицы присадки. Исследованы области уноса частиц в воздуховоде котла для равномерного добавления присадки.

*Ключевые слова:* процессы горения топлива, мазут, воздуховод котла, присадка.

*Благодарности:* работа, по результатам которой выполнена статья, выполнена по договору от 14 марта 2016 г. № 14.Z56.16.5215-МК в рамках гранта Президента РФ № МК-5215.2016.8.

## THE DEFINITION OF THE OPTIMAL AREAS OF INPUT OF SOLID ADDITIVES INTO THE AIR INLET OF THE BOILER

O.S. Dmitrieva<sup>1</sup>, S.F. Loraj<sup>2</sup>, V.Je. Zinurov<sup>1</sup>, Je.R. Zvereva<sup>1</sup>, M.F. Shageev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

<sup>2</sup>Military representation of the Ministry of defense of the Russian Federation,  
Kazan, Russia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6221-0167>, [ja\\_deva@mail.ru](mailto:ja_deva@mail.ru)

*Abstract:* The conditions of operation of the main and auxiliary equipment of TPPs essentially depend on the quality of fuel oil. The article considers the problem of improving the combustion process of fuel oil and associate produced by burning of sulfur oxides due to the introduction of additives. A part of the duct of the boiler is simulated up to the burners, where the additive particles are introduced. Areas of entrainment of particles in the duct of the boiler are investigated for uniform addition of the additive.

*Keywords:* the process of burning fuel, fuel oil, duct of the boiler, additive.



**Acknowledgments:** The reported study was funded by President of Russian Federation grant, according to the research project No. MK-5215.2016.8. (contract No. 14.Z56.16.5215-MK of 14 March 2016).

Мазут продолжает использоваться на тепловых электрических станциях в качестве котельного топлива. Повышение глубины переработки нефти приводит к ухудшению качества мазута, которое оказывает существенное влияние на условия его переработки, транспортировки, хранения и сжигания, на объем выбросов вредных веществ в атмосферу, а также на работу основного и вспомогательного оборудования тепловых электростанций. К примеру, использование высокосернистых вязких мазутов, за счет выброса больших количеств токсичных оксидов серы, приводит к загрязнению атмосферного воздуха. Кроме этого, при сгорании сера окисляется с образованием оксидов серы, которые при температуре ниже точки росы образуют серную кислоту, что является причиной коррозионных повреждений металла [1–4].

Для улучшения эксплуатационных и физико-химических свойств топлив за рубежом и в России широко используются вещества синтетического или природного происхождения – присадки. Присадки обеспечивают комплекс физико-химических свойств, необходимых для нефтяных топлив различного назначения, а также способствуют предотвращению интенсивного окисления, образования отложений и осадков, снижению износа и коррозии, улучшению вязкостно-температурных и других эксплуатационных характеристик [5–7].

Для внедрения присадок к мазуту на объектах энергетики необходимо разработать принципиальную схему дозирования. Эффективность действия твердых присадок зависит от ряда факторов: дозировки, тонкости измельчения, чистоты, характера и места ввода в котлоагрегат. Несоблюдение даже некоторых из перечисленных условий может снизить эффект применения твердых присадок.

Выбор дозировки играет весьма важную роль. Правильный выбор дозировки присадки позволит повысить эффективность ее действия [1]. В целях исключения проблем, связанных с вводом присадок, повышением эффективности их применения, разработано дозирующее устройство для равномерного добавления твердой присадки в воздухопровод котла. Сухая присадка [8] с помощью устройства вводится в воздухопровод горячего воздуха перед горелками котла.

Работа посвящена исследованию процесса ввода присадки, определению оптимальных зон в воздуховоде для её ввода, обеспечивающих отсутствие застойных зон.

Для исследования была построена 3D модель воздуховода котла (рис. 1) в программе *SolidWorks Flow Simulation*.

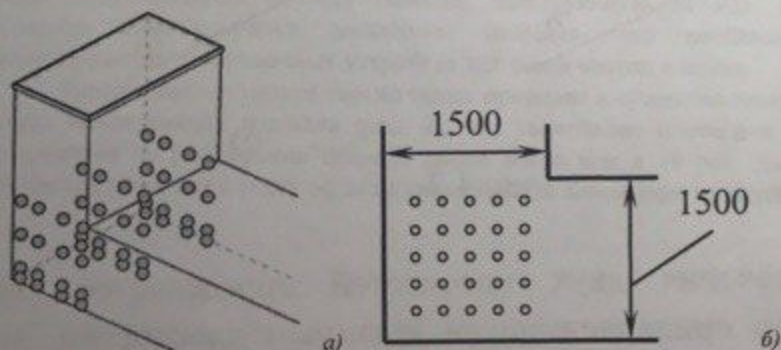


Рис. 1. Схема части воздуховода котла до горелок с частицами присадки: а – 3D модель; б – 2D модель



Целью исследования было узнать, какая группа частиц присадки из выделенной области канала уносится воздухом дальше по трубе, а какая останется, что станет причиной засорения канала, ухудшения аэродинамических характеристик. Для получения закономерностей предлагается изменять плотность и диаметр частиц, их начальную скорость в начале трубы. Также задавались некоторые постоянные параметры, обусловленные характеристикой работы котла во время промышленных испытаний обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки на Набережночелнинской ТЭЦ ОАО «Генерирующая компания» [9], а именно: на выходе из трубы атмосферное давление  $10^5$  Па; массовый расход частиц 50 г/с (0,05 кг/с); начальная скорость частиц 0 м/с; температура воздуха 523,2К (250,05°C), средняя скорость газового потока  $W_{cp} = 15+25$  м/с. Физико-химические показатели шлама водоподготовки: диаметр частиц  $d_p$  менее 90 мкм, плотность частиц  $\rho_p = 2500$  кг/м<sup>3</sup>.

Была выделена область в трубе в виде квадрата размером 1500×1500 мм (рис. 1, б). Введем относительные координаты  $Y = y/1500$ ,  $X = x/1500$ , вертикальную и горизонтальную соответственно. На рис. 2–4 в графическом виде показаны результаты исследований областей уноса частиц в канале подачи воздуха в котел. Некоторые линии на графиках не доходят до оси абсцисс, т.к. линия двигается дальше, но упирается в исследуемую область канала.

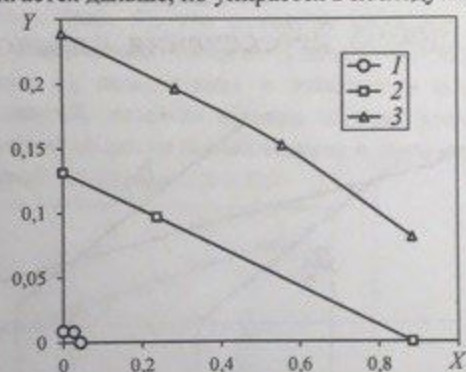


Рис. 2. Область уноса частиц в канале подачи воздуха в котел при  $W_{cp} = 10$  м/с,  $\rho_p = 2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $d_p$  мкм: 1 – 100; 2 – 150, 3 – 200

Рис. 2 показывает, что диаметр частиц присадки оказывает существенное влияние на область уноса. Частицы диаметром менее 100 мкм будут практически полностью уноситься вверх по воздуховоду из-за того, что сила аэродинамического сопротивления частиц значительно превосходит силу тяжести, действующую на них. Для частиц больших размеров область уноса достаточно большая, что необходимо учитывать при проектировании дозирующих устройств для ввода частиц в поток.

Увеличение плотности частиц также приводит к существенному увеличению области уноса. Исследования показали (рис. 3), что увеличение плотности с 2000 до 4000 кг/м<sup>3</sup> сказывается на расширении области уноса более чем в 10 раз. Дальнейшее увеличение плотности приводит к росту области уноса гораздо меньшими масштабами.

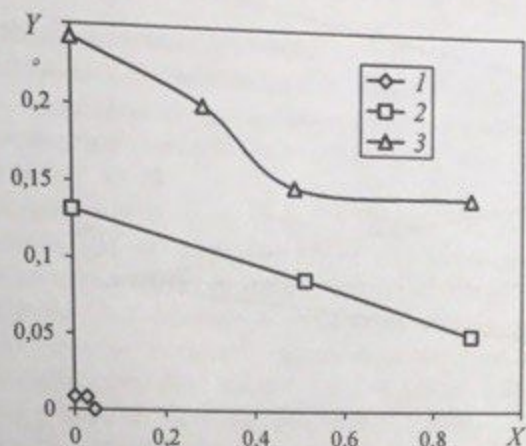


Рис. 3. Область уноса частиц в канале подачи воздуха в котел при  $W_{cp} = 10$  м/с,  $d_{pm} = 100$  мкм,  $\rho_p$ , кг/м<sup>3</sup>: 1 – 2000; 2 – 4000; 3 – 7000

Результаты исследований показали (рис. 4), что снижение скорости до значений менее 5 м/с приводит к резкому увеличению области уноса. Частицы присадки, находящиеся под кривой (рис. 4 линия 1), падают вниз и остаются в воздуховоде. И наоборот, частицы, находящиеся над линией, уносятся в вверх. В тоже время в рабочих режимах, где скорости более 10 м/с, влияние скорости потока воздуха весьма незначительно, частицы присадки уносятся воздухом вверх по трубе полностью.

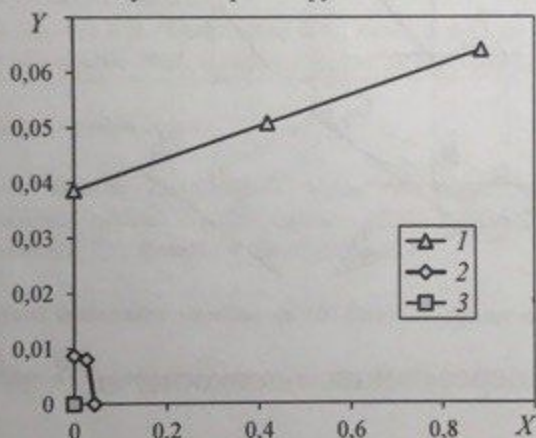


Рис. 4. Область уноса частиц в канале подачи воздуха в котел при  $d_{pm} = 100$  мкм,  $\rho_p = 2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $W_{cp}$ , м/с: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20

Таким образом, в работах [9; 10] показано, что присадка обладает наибольшей эффективностью при размере частиц менее 90 мкм, следовательно при рабочих скоростях потока воздуха по каналу все введенные частицы будут подниматься вверх. Согласно результатам испытаний происходит снижение массовой доли оксидов серы в дымовых газах на 36,5%, присадка способствует химическому связыванию серы, содержащейся в мазуте, при его горении, в результате уменьшаются выбросы оксидов серы в атмосферу. При корректных расчетах возможно спроектировать систему подачи присадки в воздуховод, которая будет работать достаточно надежно и эффективно.

#### Литература

1. Kannaiyan K., Sadr R. The effects of alumina nanoparticles as fuel additives on the spray characteristics of gas-to-liquid jet fuels. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2017. V. 87. P. 93–103.