

# 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. МК-5215.2016.8. (contract No. 14.Z56.16.5215-МК 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*.

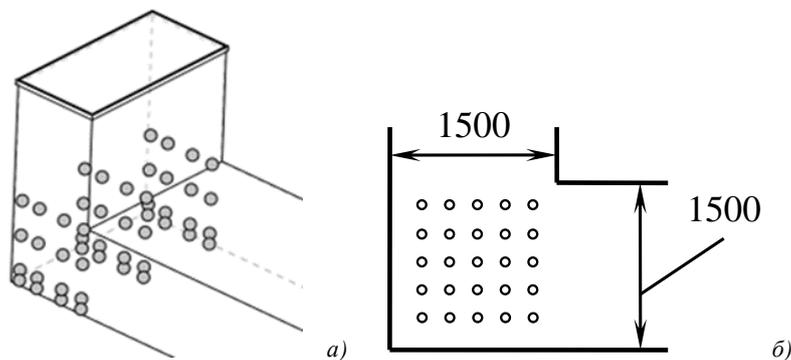


Рис. 1. Схема части воздуховода котла до горелок с частицами присадки: а – 3D модель; б – 2D модель

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  $W_{cp} = 15 \div 25$  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.

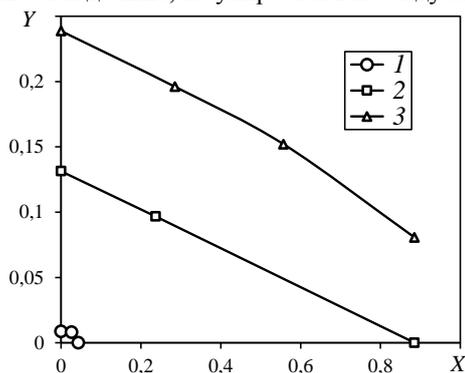


Рис. 2. Область уноса частиц в канале подачи воздуха в котел при  $W_{cp} = 10$  м/с,  $\rho_p = 2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $d_p$  мкм: 1 – 100; 2 – 150, 3 – 200

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 дозирочных 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.

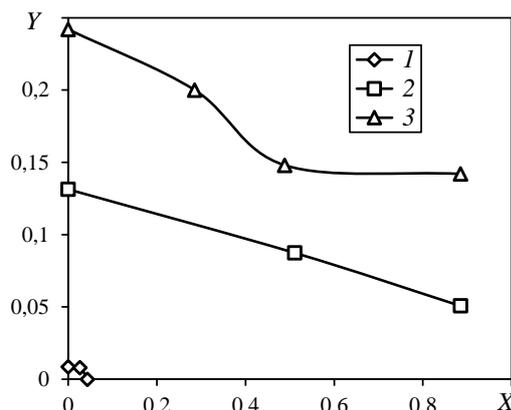


Рис. 3. Область уноса частиц в канале подачи воздуха в котел при  $W_{cp} = 10$  м/с,  $d_p = 100$  мкм,  $\rho_p$ , кг/м<sup>3</sup>: 1 – 2000; 2 – 4000; 3 – 7000

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.

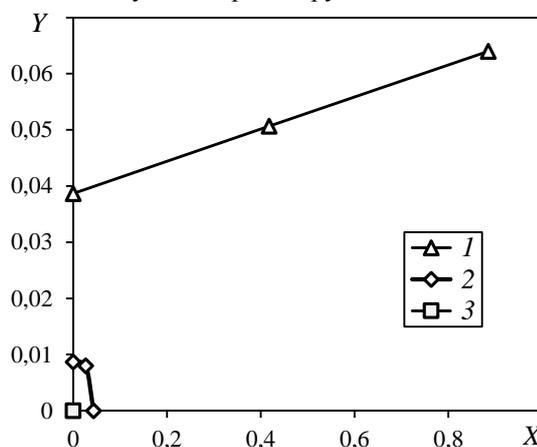


Рис. 4. Область уноса частиц в канале подачи воздуха в котел при  $d_p = 100$  мкм,  $\rho_p = 2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $W_{cp}$ , м/с: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20

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.

DOI: 10.1016/j.exptthermflusci.2017.04.027.

2. Митусова Т.Н., Любименко В.А., Недайборщ А.С. Исследование совместимости присадок различного функционального назначения к дизельным топливам методом компьютерного моделирования. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2015. № 5. С. 32–36.

3. Зиганшин М.Г., Ежов П.В., Дмитриев А.В. Эффективность очистки газовых выбросов парогенераторов ТЭС в аппаратах вихревого типа // Промышленная энергетика. 2008. № 9. С. 49–53.

4. Калимуллин И.Р., Дмитриев А.В. Перспективы использования абсорбентов на основе третичных аминов для повышения эффективности очистки газов в аппаратах высокой пропускной способности // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 3. С. 143–145.

5. Saidakhmedov A.I., Karpov S.A., Kapustin V.M. Effect of cottonseed oil additives and etherification products on diesel fuel properties. Chemistry and technology of fuels and oils. 2011. V. 47. № 5. P. 331–336. DOI: 10.1007/s10553-011-0303-2.

6. Данилов А.М. Развитие исследований в области присадок к топливам (обзор) // Нефтехимия. 2015. Т. 55, № 3. С. 179. DOI: 10.7868/S0028242115030028.

7. Капустин В.М. Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками. М.: КолосС, 2008. 232 с.

8. Пат. 2363722 РФ. МПК C10L 1/12. Присадка к мазуту / Зверева Э.Р., Ганина Л.В. заявл. 02.10.2007. Оpubл. 10.08.2009. Бюл. № 22.

9. Зверева Э.Р., Дмитриев А.В., Шагеев М.Ф., Ахметвалиева Г.Р. Результаты промышленных испытаний карбонатной присадки к мазуту // Теплоэнергетика. 2017. № 8. С. 50–56. DOI: 10.1134/S0040363617080112

10. Zvereva E.R., Khabibullina R.V., Zueva O.S. Nano additives influence on fuel oil properties. Solid state phenomena. 2017. V. 265. P. 374–378. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.265.374.

#### **Авторы публикации**

*Дмитриева Оксана Сергеевна* – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры «Теоретические основы теплотехники» (ТОТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: ja\_deva@mail.ru.

*Лорай Сергей Федорович* – начальник 744 Военного представительства МО РФ в г. Казани.

*Зинуров Вадим Эдуардович* – магистрант Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

*Зверева Эльвира Рафиковна* – докт. техн. наук, профессор кафедры «Технология воды и топлива» (ТОТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

*Шагеев Марат Фаридович* – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

#### **References**

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. DOI: 10.1016/j.exptthermflusci.2017.04.027.

2. Mitusova T.N., Lyubimenko V.A., Nedayborshch A.S. Issledovanie sovmestimosti prisadok razlichnogo funktsional'nogo naznachenija k dizel'nyim toplivam metodom komp'juternogo modelirovanija [Study of the compatibility of the additives of different functional designation to the diesel fuel by the computer simulation method] // Neftepererabotka i neftehimija. Nauchno-tehnicheskie dostizhenija i

peredovoj opyt. 2015. issue 5. pp. 32–36.

3. Ziganshin M.G., Ezhov P.V., Dmitriev A.V. Jefferktivnost' ochistki gazovyh vybrosov parogeneratorov TJeS v apparatah vihrevogo tipa [Efficiency of cleaning gas emissions of TPP steam generators in vortex-type devices] // Promyshlennaja jenergetika. 2008. issue 9. pp. 49–53.

4. Kalimullin I.R., Dmitriev A.V. Perspektivy ispol'zovanija absorbentov na osnove tretichnyh aminov dlja povyshenija jefferktivnosti ochistki gazov v apparatah vysokoj propusknoj sposobnosti [Prospects for the use of tertiary amine based absorbents to improve the efficiency of gas cleaning in high-throughput devices]. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2011. issue 3. pp. 143–145.

5. Saidakhmedov A.I., Karpov S.A., Kapustin V.M. Effect of cottonseed oil additives and etherification products on diesel fuel properties. Chemistry and technology of fuels and oils. 2011. V. 47. issue 5. pp. 331–336. DOI: 10.1007/s10553-011-0303-2.

6. Danilov A.M. Razvitie issledovanij v oblasti prisadok k toplivam (obzor) [Progress in research on fuel additives (review)] // Neftehimija. 2015. V. 55. issue 3. p. 179. DOI: 10.7868/S0028242115030028.

7. Kapustin V.M. Neftjanye i al'ternativnye topliva s prisadkami i dobavkami [Oil and alternative fuels with additives and additives]. Moscow. KolosS, 2008. 232 p.

8. Zvereva Je.R., Ganina L.V. Pat. 2363722 RF. Prisadka k mazutu [Additive for fuel oil]. Izobrenenija. Poleznye modeli. 2009. issue 22. (Publ. 10 august 2009).

9. Zvereva Je.R., Dmitriev A.V., Shageev M.F., Ahmetvalieva G.R. Rezul'taty promyshlennyh ispytanij karbonatnoj prisadki k mazutu [Results of industrial tests of carbonate additive to fuel oil] // Teplojenergetika. 2017. issue 8. pp. 50–56. DOI: 10.1134/S0040363617080112.

10. Zvereva E.R., Khabibullina R.V., Zueva O.S. Nano additives influence on fuel oil properties. Solid state phenomena. 2017. V. 265. P. 374–378. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.265.374.

#### **Authors of the publication**

**Oksana S. Dmitrieva** – Cand. Sci. (Techn.), senior researcher, Department “Theoretical Foundations of Thermal Engineering”, Kazan State Power Engineering University.

**Sergey F. Loraj** – chief of 744 Military representation of the Ministry of defense of the Russian Federation in Kazan.

**Vadim Je. Zinurov** – student of Kazan State Power Engineering University.

**Jelvira R. Zvereva** – Dr. Sci. (Techn.), professor, Department “Water and fuel technology”, Kazan State Power Engineering University.

**Marat F. Shageev** – Cand. Sci. (Techn.), associate professor, Department of “Electric stations”, Kazan State Power Engineering University.

**Поступила в редакцию**

**12 мая 2017 г.**