

ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИСАДОК

Э.Р. ЗВЕРЕВА, О.С. ЗУЕВА, Р.В. ХАБИБУЛЛИНА, З.Ф. ХАТМУЛЛИНА,
Е.С. ДРЕМИЧЕВА

Казанский государственный энергетический университет

Показана возможность улучшения реологических свойств топливных мазутов за счет применения присадок различной природы, в том числе включающих функциональные наноразмерные структуры. Разработаны технологические схемы дозирования присадок. Проведена оценка экономической эффективности добавления в топочный мазут твердой присадки на основе карбонатного шлама и жидкой присадки Дипроксамин-157.

Ключевые слова: мазут, присадка, скорость сдвига, вязкость, экономическая эффективность.

Введение

В настоящее время мазут продолжает использоваться в качестве котельного топлива на электростанциях и в котельных России. Основным топливом для большинства ТЭС является газ, но удешевление мазута повысило его привлекательность как основного котельного топлива. Цены на мазут в настоящее время почти в два раза ниже, чем цены на газ. В период 2012–2015 гг. средние цены производителей на мазут топочный упали более чем на 40 %. Наибольшее падение средних цен производителей на мазут произошло в 2015 году.

Ограниченность нефтяных ресурсов и рост перспективной потребности в моторных топливах определяют в качестве основного направления развития нефтеперерабатывающей отрасли до 2010 г. глубокую переработку нефтяных остатков, что ставит вопрос о повышении качества топочного мазута [1–2].

Соответствие характеристик жидкого котельного топлива установленным требованиям является определяющим фактором эффективности его использования в теплоэнергетических установках. Качество мазута оказывает существенное влияние на условия его транспортировки, хранения и сжигания, на объем выбросов вредных веществ в атмосферу, а также на работу основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Существующие традиционные технологические схемы подготовки жидкого топлива к сжиганию в котельных по целому ряду причин (в том числе экономических), не позволяют в полной мере обеспечить необходимые характеристики топлива перед сжиганием [3–6].

В этих условиях оптимизация методов сжигания при неуклонном обеспечении экономичности, надежности и экологичности работы энергетических котлов является необходимой. Для устранения отрицательных моментов при сжигании мазута необходимо решить комплекс проблем:

- обеспечить надежность сжигания мазута с повышенной влажностью, поскольку присадки могут быть диспергированы в водных растворах ПАВ;
- снизить образование токсичных веществ;
- исключить снижение надежности работы поверхностей нагрева котлов;
- обеспечить высокую экономичность использования топлива.

Компенсировать несовершенство мазутных хозяйств в условиях продолжающегося ухудшения эксплуатационных свойств топочного мазута и повысить эффективность использования жидкого топлива позволяет добавление присадок [7-8]. Присадки обеспечивают комплекс физико-химических свойств, необходимых для нефтяных топлив различного назначения, а также способствуют активизации процесса его горения, предотвращению интенсивного окисления, уменьшению образования отложений и осадков, снижению износа и коррозии, улучшению вязкостно-температурных и других эксплуатационных, а также экологических характеристик [9]. Как правило, разработанные присадки в определенной степени обладают набором всех этих свойств.

Для дальнейшего улучшения физико-химических свойств углеводородного топлива, повышения эффективности сгорания и в целях его экономии используют последние достижения нанотехнологий [10, 11]: добавление к топливу функциональных наноразмерных структур – наночастиц металлов, оксидов, карбидов, нитридов или углеродных нанотрубок [12–16]. Например, выпускаемая фирмой *Oxonica Energy Ltd* присадка-катализатор к дизельному топливу *ENVIROX*™, содержащая наночастицы оксида церия, уменьшает расход топлива и выброс углекислого и других вредных выхлопных газов. Исследования показали наличие каталитической активности не только у церия, но и у всех лантаноидов и их оксидов, а также легированных оксидов церия [17]. Было отмечено, что наибольшей каталитической активностью обладают наночастицы оксида церия, имеющие размеры от 5 до 10 нм, особенно 8 нм. Аналогичный способ улучшения свойств углеводородного топлива предложен специалистами Института прикладной нанотехнологии (Россия, Москва) [18]. Эффект достигается за счет использования растворимых в моторных топливах производных мочевины вместе с наноразмерными частицами соединений редкоземельных металлов.

Важным эксплуатационным фактором, определяющим продолжительность сливно-наливных операций, эффективность транспортировки по трубопроводам, качество распыления мазута и полноту его сжигания является динамическая вязкость. Оптимальные значения вязкости мазута перед форсунками находятся в диапазоне от 16,1 до 59 мм²/с в зависимости от типа применяемых форсунок. Снижение вязкости котельного топлива, обеспечивая лучшую прокачиваемость мазута по трубопроводам, позволяет снизить на стадии подготовки к сжиганию интенсивность его нагрева и, как следствие, – уменьшить энергетические затраты на подогрев и перекачку по трубопроводам. Отечественный и зарубежный опыт применения присадок к топочному мазуту показывает их безусловную целесообразность, а в случае сжигания низкокачественных высокосернистых мазутов – и необходимость.

Целью данной работы явилось исследование практических вопросов снижения вязкости в процессах подготовки тяжелого углеводородного топлива к сжиганию, оптимизация схем дозирования как жидких, так и твердых присадок к мазуту, а также оценка экономической эффективности разработанных присадок к мазуту.

Обсуждение результатов экспериментальных исследований

В наших предыдущих работах по изучению вязкостных характеристик тяжелого углеводородного топлива были исследованы образцы мазута, его смесей с Дипроксамином-157 (жидкая присадка, концентрация присадок 0,5 мас. %) и его смесей с присадкой на основе карбонатного шлама (твердая присадка, концентрация присадок 0,5 мас. %) [19]. Также были исследованы [20, 21] смеси мазута и водотопливных эмульсий на его основе с суспензиями углеродного наноматериала «Таунит», содержащего многостенные углеродные нанотрубки, производства ООО «НаноТехЦентр» (Тамбов, <http://www.nanotc.ru>) [22, 23] в растворах одного из наиболее

употребляемых и поэтому хорошо изученных поверхностно-активных веществ – додецилсульфата натрия [24–27]. Концентрация углеродных нанотрубок в исследуемых образцах составляла 0,41 мас. % и 0,82 мас. %. Для лучшего диспергирования образцы наноматериала, смешанные с водным раствором ПАВ, подвергались обработке ультразвуком с частотой 15 кГц в водяной бане ультразвукового диспергатора *Bandelin SONOREX TK52* (Германия) в течение 15 минут при температуре 40 °С. Динамическая вязкость образцов при различных скоростях сдвига была исследована с помощью ротационного вискозиметра *Rheomat RM 100*.

Мазут по составу представляет собой смеси парафиновых, нафтенных и ароматических углеводородов, а также сравнительно небольшого количества смолистых и асфальтеновых соединений. Ароматические и нафтенные углеводороды характеризуются низкими температурами застывания и невысокой вязкостью и на транспортировку мазута влияют положительно. Парафиновые углеводороды ограниченно растворяются в смесях углеводородов и при охлаждении легко кристаллизуются. По мере снижения температуры кристаллы парафинов постепенно растут и в какой-то момент начинают слипаться между собой, образуя пространственную структуру. В результате подвижность мазута резко уменьшается.

Аномалия вязкости котельных топлив заключается в изменении вязкости после термообработки или соответствующего механического воздействия. Такое явление обусловлено присутствием в топочном мазуте высокомолекулярных алканов и асфальтено-смолистых веществ. По мере того как скорость сдвига увеличивается, динамическая вязкость мазута обычно уменьшается. Когда вся структура полностью разрушена, наблюдается минимальная вязкость. Однако по истечении некоторого времени пространственная структура углеводородов восстанавливается и вязкость опять повышается, что свидетельствует о том, что мазут ведет себя как неньютоновская жидкость, обладающая тиксотропными свойствами. Образование внутренней сетчатой структуры значительно ухудшает прокачиваемость мазутов.

Механизм действия присадок на вязкостные характеристики топлива заключается в их разрушающем влиянии на образование пространственной структуры мазута при кристаллизации содержащихся в нём парафинов [28–29]. Роль присадок заключается в такой модификации поверхности кристаллов парафинов, при которой они теряют способность к увеличению своих размеров и последующему слипанию. Суть механизма действия присадки в мазуте состоит в стабилизации размера частиц ее дисперсной фазы. Взаимодействие присадок с топливными дисперсными системами происходит по адсорбционному механизму.

Присадка Дипроксамин-157, встраиваясь в структуру кристалла парафина неполярной частью, препятствует ассоциации кристаллов парафинов, а полярные части, оставшиеся снаружи, мешают новым молекулам парафина осесть на кристалле, увеличив его размер. Присадка на основе карбонатного шлама, адсорбируясь на поверхности кристаллов парафина, уменьшает их поверхностную энергию и препятствует сближению и ассоциации кристаллов парафинов в упорядоченную структуру. Воздействие углеродных нанотрубок мы связываем с распределением углеродных нанотрубок внутри мелкодисперсной фазы и их разворотом уже при небольших скоростях сдвига. Кроме того, возможен процесс их адсорбции на поверхность более крупных образований. Это приводит, с одной стороны, к устранению связей между слоями и потере способности к их слипанию, с другой стороны – к сглаживанию поверхностей каждого слоя.

Было показано, что присадка Дипроксамин-157 и присадка на основе карбонатного шлама позволяют улучшить эксплуатационные свойства топочных мазутов: снизить вязкость чистого мазута в случае Дипроксамин на 19,05–21,43 %, а в

случае карбонатного шлама – на 7,14–9,52 % (при концентрации присадки в мазуте 0,5 мас. %). Это минимизирует расход тепла на подогрев мазута при разгрузке из цистерн, хранении, транспортировке и подаче в котел. В другом рассмотренном нами случае мы наблюдали улучшение текучести мазута на 11–26 % при введении водной суспензии углеродных нанотрубок, содержащей 0,82 мас. %.

Итак, указанные примеры показывают, что введение присадок позволяет значительно улучшить реологические свойства тяжелого углеводородного топлива. Дополнительное введение функциональных наноразмерных структур может привести к еще большему воздействию. Однако применение присадок требует разработки и создания дополнительного оборудования и оценки его экономической эффективности.

Технологическая схема дозирования присадок в мазут

При разработке принципиальной схемы дозирования было учтено, что обработка мазута присадками необходима как при хранении его в резервуарах, так и при подготовке непосредственно к сжиганию. Во всех случаях требуется обеспечить эффективное смешение присадки с топливом при наименьших энергетических и трудовых затратах. С учетом вышеперечисленных требований разработаны принципиальные схемы дозирования жидких (рис. 1) и твердых (рис. 2) присадок к нефтяным топливам [30–31].

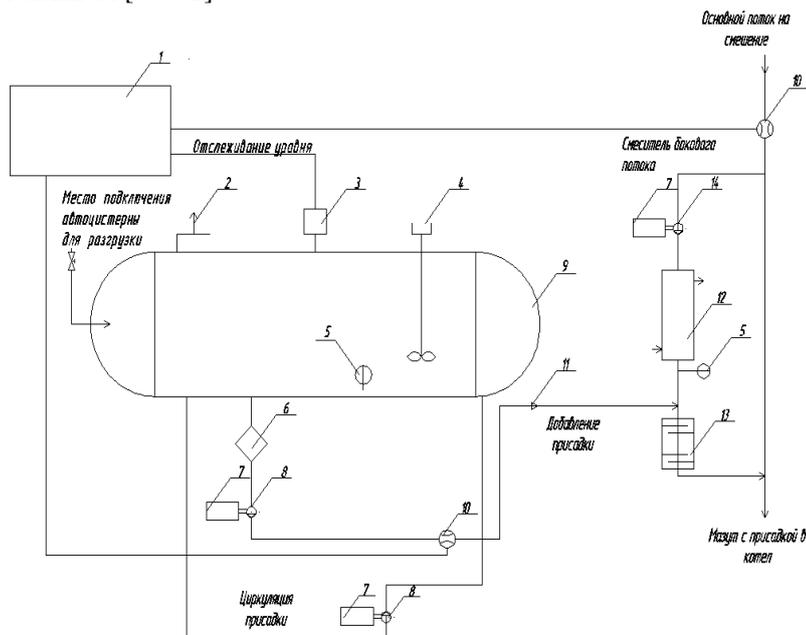


Рис. 1. Технологическая схема дозирования жидкой присадки в мазут

Жидкая присадка готовится в баках 9, снабженных датчиком температуры 5. Нагрев присадки допускается до температуры 50 °C. Емкости для хранения оборудованы перемешивающим устройством 4, для механического перемешивания с помощью обычных мешалок или циркуляционного перемешивания. Емкость для хранения присадки имеет датчик уровня 3, с помощью которого программирующий логический контроллер 1 отслеживает содержание присадки в емкости. В случае заполнения емкости открывается выпускной клапан 2 и выводится излишек присадки. После выхода из емкости хранения присадка проходит через фильтр 6, который предназначен для очистки от механических примесей, затем очищенная присадка перекачивается насосом-дозатором 8. На линии подачи присадки установлен

расходомер 10, по его показателям контроллер определяет расход присадки перед подачей ее в мазутопровод. Также установлен обратный клапан 11, предотвращающий обратное течение присадки на линии подачи.

На основном мазутопроводе установлен расходомер 10. Из всего объема основного потока мазута 2 % отбирается для смешения с присадкой. Этот поток перекачивается насосом 14. Мазут, перед добавлением присадки, проходит через паровой подогреватель 12 для повышения температуры и предотвращения застывания мазута, а также для обеспечения необходимых значений вязкости. После прохождения через паровой подогреватель и измерения температуры в мазутопровод добавляется присадка.

Мазут, в который введена присадка, должен быть нагрет до температуры 50 – 70 °С. Перемешивание мазута и присадки осуществляется статическим миксером 13. Далее смесь мазута и присадки подается в основной мазутопровод.

Разработанная нами схема дозирования твердой присадки к мазуту показана на рис. 2.

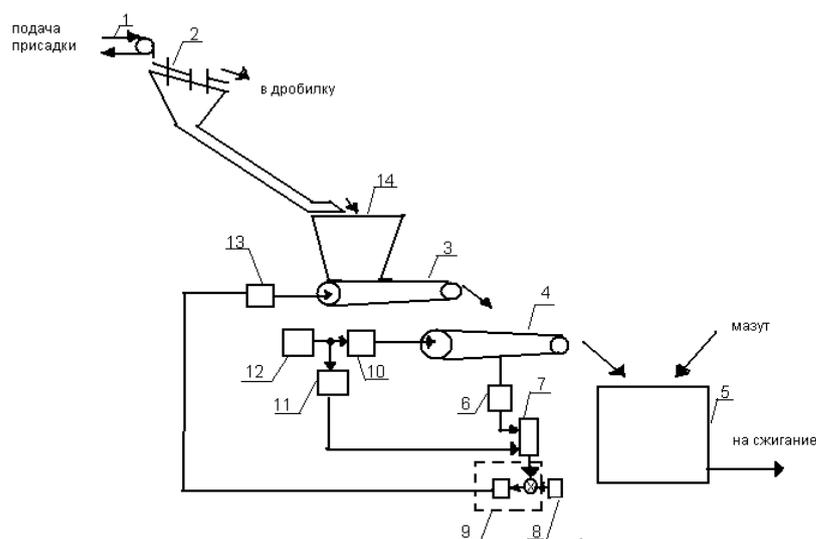


Рис. 2. Схема дозирования твердой присадки к мазуту

Питатель 1 обеспечивает подачу присадки на виброгрохот 2, т.к. важен дисперсный состав присадки. Максимальный размер частиц не должен превышать 90 мкм. Затем просеянная присадка подается в бункер дозатора 14. В качестве дозатора используется ленточный весовой дозатор, который является наиболее совершенным среди автоматических дозаторов непрерывного действия. Дозируемый материал через выпускное отверстие бункера 14 вытягивается лентой и подается на несоизмерительный транспортер 4, лента которого движется с постоянной фиксированной скоростью. Сигнал с силоизмерительного преобразователя 6, пропорциональный массе материала на ленте транспортера 4, подается через сумматор 7 на вход регулятора 9, где сравнивается с сигналом датчика расхода массы 8. Сигнал с выхода регулятора 9, пропорциональный рассогласованию между фактической и заданной производительностью, поступает на вход привода 13 питателя 3, приводя к изменению скорости движения ленты с устранением возникшего рассогласования. Далее присадка подается на узел смешения с мазутом 5, откуда суспензия мазута с присадкой подается на сжигание.

При частоте переменного тока источника напряжения I_2 , равной 50 Гц, сигнал на выходе преобразователя частоты I_1 отсутствует, и скорость движения транспортера 4 равна заданной. При возникновении отклонения от номинальной частоты тока источника I_2 скорость ленты транспортера 4 меняется и приводит к изменению сигнала, снимаемого с выхода силоизмерительного преобразователя 6 . При неизменном расходе на выходе питателя 3 сигнал на входе сумматора 7 остается по величине неизменным и обеспечивает заданный расход массы сыпучего материала. Кроме указанных позиций в схему входит электродвигатель 10 .

В условиях продолжающегося ухудшения эксплуатационных свойств топочного мазута присадки обеспечивают комплекс физико-химических свойств, необходимых для нефтяных топлив различного назначения, и, тем самым, позволяют повысить эффективность использования жидкого топлива [32].

Оценка экономической эффективности разработанных присадок к мазуту

Для обоснования целесообразности внедрения комплекса дозирования присадки к мазуту в систему топливного хозяйства для обоих случаев была проведена оценка экономической эффективности использования присадок. Согласно современным методам, наиболее корректной экономической оценкой эффективности инвестиций является метод расчета чистого дисконтированного дохода [33, 34].

В табл. 1 и 2 представлены показатели оценки экономической эффективности добавления к мазуту жидкой присадки Дипроксамин-157 и твердой присадки в виде карбонатного шлама.

Таблица 1

Оценка экономической эффективности жидкой присадки к мазуту

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Величина
1	2	3	4
1	Расход мазута при максимальной допустимой нагрузке	т/ч	28,80
2	Стоимость мазута	руб./т	9000,00
3	Себестоимость присадки	руб./т	70000,00
4	Себестоимость электрической энергии	руб./кВт	0,85
5	Ориентировочная стоимость дозирочного комплекса присадки с учетом монтажа	тыс. руб.	1405,00
6	Стоимость присадки в расчете 5 кг на 1 тонну мазута	тыс. руб.	22498,56
7	Среднегодовые затраты на заработную плату	тыс. руб./год	600,00
8	Годовые затраты на ремонт и обслуживание дозирующего устройства	тыс. руб./год	252,90
9	Годовые затраты на амортизационные отчисления	тыс. руб./год	84,30
10	Годовые затраты на оплату энергетических ресурсов (электричество)	тыс. руб./год	69,99
11	Годовые затраты на прочие расходы	тыс. руб./год	91,04
12	Экономия затрат на топливо при внедрении присадки	тыс. руб./год	18000,00
13	Снижение производственных издержек на проведение ремонтных работ, связанных с коррозией поверхности нагрева	тыс. руб./год	8850,0
14	Эксплуатационные издержки	тыс. руб./год	24596,80
15	Экономия от внедрения	тыс. руб./год	26850,00
16	Чистый доход	тыс. руб./год	644,63
17	Индекс доходности	–	1,46
18	Срок окупаемости	мес.	26,15

Таблица 2

Оценка экономической эффективности твердой присадки к мазуту

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Величина
1	2	3	4
1	Расход мазута при максимальной допустимой нагрузке	т/ч	28,80
2	Стоимость мазута	руб./т	9000,00
3	Себестоимость присадки	руб./т	5500,00
4	Себестоимость электрической энергии	руб./кВт	0,85
5	Ориентировочная стоимость дозирующего комплекса присадки с учетом монтажа	тыс. руб.	1382,26
6	Стоимость присадки в расчете 5 кг на 1 тонну мазута	тыс. руб.	1767,74
7	Среднегодовые затраты на заработную плату	тыс. руб./год	600,00
8	Годовые затраты на ремонт и обслуживание дозирующего устройства	тыс. руб./год	248,81
9	Годовые затраты на амортизационные отчисления	тыс. руб./год	82,94
10	Годовые затраты на оплату энергетических ресурсов (электричество)	тыс. руб./год	65,15
11	Годовые затраты на прочие расходы	тыс. руб./год	89,57
12	Экономия затрат на топливо при внедрении присадки	тыс. руб./год	7419,80
13	Снижение платежей за выбросы оксидов серы с учетом регионального коэффициента	тыс. руб./год	64,06
14	Снижение платежей за выбросы оксидов серы с учетом регионального коэффициента	тыс. руб./год	1135,06
15	Снижение производственных издержек на проведение ремонтных работ, связанных с коррозией поверхности нагрева	тыс. руб./год	8850,00
16	Эксплуатационные издержки	тыс. руб./год	3854,21
17	Экономия от внедрения	тыс. руб./год	17468,92
18	Чистый доход	тыс. руб./год	9296,66
19	Индекс доходности	–	7,73
20	Срок окупаемости	мес.	1,78

Анализируя результаты расчетов экономической эффективности внедрения присадки [35], можно сказать, что использование в качестве присадок к топочному мазуту карбонатного шлама и Дипроксамина-157 является эффективным мероприятием (чистый дисконтированный доход принимает положительное значение). Индекс доходности капитальных затрат изменяется от 7,7 и выше в зависимости от цены мазута и нормы дисконта.

Расчет экономической эффективности внедрения жидкой присадки с углеродным наноматериалом, содержащим многостенные углеродные нанотрубки, не проводился. Использовать углеродные нанотрубки в таких концентрациях пока нерентабельно ввиду их достаточно высокой стоимости (40–120 и более рублей за грамм). Однако основной эффект от применения углеродных нанотрубок, как следует из литературных данных по легким моторным топливам, может быть связан с их каталитическими свойствами. Резкое уменьшение стоимости многостенных углеродных нанотрубок, производство которых вышло за рамки лабораторных и полупромышленных установок, и наличие синергетического эффекта за счет улучшения не только реологических, но и каталитических свойств топлива, дает возможность предположить экономическую целесообразность их использования в качестве добавок к котельным топливам в недалеком будущем.

Выводы

Показано, что добавление присадок позволяет получить более низкие значения вязкости, в связи с чем уменьшаются энергетические затраты на подогрев мазута и на его перекачку по трубопроводам.

Разработаны технологические схемы дозирования присадок, позволяющие в автоматическом режиме организовать приготовление присадки и ее добавление в мазут, тем самым обеспечивая высокую надежность работы и экономичность котла.

Проведены расчеты экономической эффективности использования присадок, на основе которых можно сделать вывод, что универсальным методом регулирования эксплуатационных и экологических свойств топлив в нужном направлении является использование эффективных многофункциональных присадок.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-08-00731-а «Улучшение эксплуатационных и экологических характеристик жидких органических котельных топлив добавками, включающими углеродные нанотрубки».

Summary

The possibility of improving the rheological properties of the fuel oil by the use of additives of different nature including nanoparticles has been shown. Technological schemes additive dosing have been designed. The evaluation of cost-effectiveness of adding to fuel oil additives based on solid carbonate slurry and the liquid additive Diproksamin-157 have been carried out.

Keywords: fuel oil, additive, shear rate, viscosity, economic efficiency

Литература

1. Зверева Э.З., Фарахов Т.М. Энергоресурсосберегающие технологии и аппараты ТЭС при работе на мазутах. М.:Теплотехник. 2012. 181 с.
2. Бергауз А.Л., Розенфельд Э.И. Повышение эффективности сжигания топлива в нагревательных и термических печах. Л.: Недра. 1984. 175 с.
3. Блинов Е.А. Топливо и теория горения. СПб.: Изд-во СЗТУ. 2007. 119 с.
4. Ляндю И.М. Сжигание топочного мазута и газа в промышленных котельных. Л.: Государственное энергетическое издательство. 1963. 208 с.
5. Адамов В.А. Сжигание мазута в топках котлов. Л.: Недра. 1989. 305 с.
6. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. М.: Изд-во МЭИ. 2002. 612с.
7. Зверева Э.Р. Ресурсо-энергосберегающие технологии в мазутных хозяйствах тепловых электрических станций. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2010. 184 с.
8. Данилов А.М. и др. Повышение эффективности горения котельных топлив с помощью присадки ВНИИНП-200 // Промышленная энергетика. 1996. № 8. С. 12–13.
9. Зверева Э.Р., Мутугуллина И.А., Зиннатуллина Р.В., Хабибуллина А.Р. Улучшение реологических свойств топочных мазутов // Известия вузов. Проблемы энергетике. 2012. № 7-8. С. 28–33.
10. Чичирова Н. Д., Зуева О. С., Чичиров А. А. и др. Бионанотехнологии в производстве биотоплива // Надежность и безопасность энергетики. 2014. № 3 (26). С. 48–56.
11. Зуева О.С., Чичиров А.А., Зуев Ю.Ф. Биотопливо и нанотехнологии / Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике. Т. 2. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. С. 48–80.
12. Basha S.J., Anand R.B. Role of nanoadditive blended biodiesel emulsion fuel on the working characteristics of a diesel engine // J. Renewable Sustainable Energy. 2011. V. 3. № 023106.
13. Basha S.J., Anand R.B. Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2013. V. 35 (3). P. 257–264.
14. Sajith V., Sobhan C.B., Peterson G.P. Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel // Advances in Mechanical Engineering. 2010. V. 2010. № 581407.

15. Jung H.S., Miller A., Park K., Kittelson D.B. Carbon nanotubes among diesel exhaust particles: real samples or contaminants? // Journal of the Air & Waste Management Association. 2013. V. 63 (10). P. 1199–1204.
16. Tewari P., Doijode E., Banapurmath N.R., Yaliwal V.S. Experimental Investigations on a Diesel Engine Fuelled with Multiwalled Carbon Nanotubes Blended Biodiesel fuels // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2013.V. 3. P. 72–76.
17. Патент WO 2007128954 A1 «Biofuel». 2004.
18. Абрамян А.А. и др. Основы прикладной нанотехнологии. М.: Издательский Дом МАГИСТР-ПРЕСС, 2007. 208 с.
19. Зверева Э.Р., Мингалеева Г.Р., Хабибуллина Р.В., Ахметвалиева Р.Г. Улучшение вязкостных характеристик котельного топлива присадками // Нефтехимия. 2016. Т. 56, № 1. С. 73–75.
20. Зверева Э.Р., Хабибуллина Р.В., Ахметвалиева Р.Г. и др. / В кн.: Энергоресурсоэффективность и энергосбережение: Труды XV Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение», Казань, 1–3 апреля 2015. Казань: Издательство ИП Шайхутдинов А.И., 2015. С. 315–318.
21. Зверева Э.Р., Зуева О.С., Хабибуллина Р.В. и др. Воздействие на реологические характеристики жидкого котельного топлива присадок, включающих углеродные нанотрубки // Химия и технология топлив и масел. 2016. № 5. С. 1–6.
22. Зуева О.С., Осин Ю.Н., Сальников В.В., Зуев Ю. Ф. Исследование суспензий углеродных нанотрубок: образование мезоскопических структур из агрегатов ПАВ // Фундаментальные исследования. 2014. № 11–5. С. 1021–1027.
23. Зуева О.С. и др. Структура и свойства водных дисперсий додецилсульфата натрия с углеродными нанотрубками // Известия Академии наук. Серия химическая. 2016. № 5. С. 1–7.
24. Зуев Ю.Ф., Гнездилов О.И., Зуева О.С. Усыров О.Г. Эффективные коэффициенты самодиффузии ионов в мицеллярных растворах додецилсульфата натрия // Коллоидный журнал. 2011. Т. 73. С. 43–49.
25. Gnezdilov O.I., Zuev Yu.F., Zueva O.S., et al. Self-Diffusion of Ionic Surfactants and Counterions in Premicellar and Micellar Solutions of Sodium, Lithium and Cesium Dodecyl Sulfates as Studied by NMR-Diffusometry // Applied Magnetic Resonance. 2011. V. 40. P. 91–103.
26. Идиятуллин Б.З., Потарикина К. С., Зуев Ю. Ф., Зуева О. С., Усыров О. Г. Ассоциация додецилсульфата натрия в водных растворах по данным химического сдвига в спектрах ¹H ЯМР // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75. С. 585–590.
27. Губайдуллин А.Т. и др. Структура и динамика концентрированных мицеллярных растворов додецилсульфата натрия // Известия Академии наук. Серия химическая. 2016. № 1. С. 158–166.
28. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. М.: Мир, 2005. 288 с.
29. Данилов А.М., Энглин Б.А., Селягина А.А. Оптимизация нефтяных топлив присадками и добавками. Серия «Переработка нефти», Выпуск 3. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988. 63 с.
30. Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андриюшина И.А. Влияние присадки на эксплуатационные свойства топочных мазутов // Химия и технология топлив и масел. 2009. № 5. С. 31–33.
31. Патент на полезную модель №: 133018 Российская Федерация. Система подготовки топочного мазута к сжиганию / Э.Р. Зверева, И.А. Мутугуллина, Р.В. Зиннатуллина. Оpubл.: 10.10.2013.
32. Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Зиннатуллина Р.В. Обсуждение механизма влияния карбонатной присадки на свойства топочного мазута // Технологии нефти и газа. 2014. № 1. С. 20–24.
33. Косов В.В. и др. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика. 2000. 421 с.
34. Шарнопольский Б.П. Методические основы современной оценки экономической эффективности инвестиций в техническое перевооружение и реконструкцию ТЭС: учебно-методическое пособие. М.: Изд-во ИПКгосслужбы. 2004. 36 с.
35. Зверева Э.Р., Хабибуллина Р.В. Дозирование присадок в топочный мазут // Нефтепереработка и нефтехимия. 2014. № 12. С. 37–41.

Поступила в редакцию

18 февраля 2016 г.

Зверева Эльвира Рафиковна – д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология воды и топлива» (ТВТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 7(843)527-00-64, 7(843)5194217, 7(927)2470335. E-mail: belvira6@list.ru.

Зуева Ольга Стефановна – канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры «Физика» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 7(843)2362109, 7(843)5194282, 7(905)3757661. E-mail: ostefzueva@mail.ru.

Хабибуллина Раиля Вагизовна – аспирантка кафедры «Технология воды и топлива» (ТВТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 7(937)2807197. E-mail: zinnatullina-rai@mail.ru.

Хатмуллина Зульфия Фирдатовна – магистрант 2 года обучения кафедры «Технология воды и топлива» (ТВТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 7(927)410736. E-mail: zulfiya_khatmullina@mail.ru.

Дремичева Елена Сергеевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология воды и топлива» (ТВТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 7(927)4040109. E-mail: lenysha@mail.ru.