

УТИЛИЗАЦИЯ КАРБОНАТНОГО ШЛАМА СИСТЕМ ХИМВОДООЧИСТКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Предложено в качестве многофункциональной присадки к тяжелому, высокосернистому топочному мазуту использовать карбонатный шлам, образующийся при подготовке питательной воды на теплоэлектростанциях. Рассмотрены свойства присадки и ее влияние на эксплуатационные свойства мазутов. Оценена предварительная экономическая эффективность применения предлагаемой присадки.

Ключевые слова: тепловая электростанция, мазут, многофункциональная присадка, шлам водоподготовки.

Энергетическая стратегия развития России на период до 2020 года в качестве приоритетов развития топливно-энергетического комплекса ставит вопросы снижения удельных затрат на производство и использования энергоресурсов за счет рационализации их потребления, применения ресурсо- и энергосберегающих технологий. Снижение техногенного воздействия энергетики на окружающую среду возможно за счет совершенствования структуры производства, внедрения новых технологий, обеспечивающих рациональное производство и использование топливно-энергетических ресурсов, снижения выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в окружающую среду, а также сокращения образования отходов производства и других агентов вредного воздействия.

В статье 4 ФЗ РФ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» говорится о необходимости эффективного и рационального использования энергетических ресурсов. Наша страна имеет огромный потенциал энергосбережения, который сопоставим с приростом производства всех первичных энергоресурсов. Потенциал России по энергосбережению способен решить проблему обеспечения экономического роста страны. Но на данный момент он недоиспользуется.

Одной из проблем по повышению энергосбережения и энергоэффективности является недостаток новых технологий. Среди самых действенных способов сокращения влияния человека на окружающую среду является повышение эффективности использования

топлива. Современная энергетика основана в основном на использовании ископаемых различных видов топлива – газ, уголь, нефть, что оказывает пагубное воздействие на природу. Именно поэтому вопрос о том, чтобы постоянно разрабатывать и обязательно внедрять новые энергосберегающие технологии при добыче, переработке и сжигании топлива на данный момент является одним из самых важных для всего мира, а также для обогащенной природными ресурсами России.

Статистические данные показывают, что в России доля энергозатрат в себестоимости продукции равна 30-40%, что значительно превышает показатели западноевропейских стран. Одна из причин этого – устаревшие технологии, оборудование, приборы, которые использует наше производство. Становится очевидным, что повысить конкурентоспособность можно снижая издержки производства. Энергоэффективность в промышленности поможет не только уменьшить издержки на производство продукции, но и увеличить доходы.

Согласно проектам Энергетической стратегии России, в XXI веке даже в случае самых жестких ограничений добыча нефти в 2020 году будет на уровне 450-520 млн тонн. Свыше 30% добываемой нефти в процессе ее переработки переходит в топочный мазут, основным потребителем которого являются электростанции и котельные. Анализ структуры топливно-энергетического баланса России показывает, что основой электроэнергетики остаются тепловые электростанции, удельный вес которых в структуре установленной мощности отрасли сохраняется на уровне 60-70 %. Выработка электроэнергии на тепловых электростанциях к 2020 году возрастет в 1,4 раза по сравнению с 2000 годом.

Важнейшей тенденцией развития не только мировой, но и российской нефтеперерабатывающей отрасли является повышение глубины переработки нефти и рост объема выпуска высококачественных нефтепродуктов. К 2020 году ожидается рост объемов переработки нефти до 190-215 млн. т/год с одновременным увеличением глубины переработки до 80-85%. Однако, по мере углубления переработки нефти доля прямогонного мазута в котельных топливах снижается, а доля гудрона и тяжелых остатков крекинг-процессов растет, т.е. качество топочного мазута ухудшается. Потребление высокосернистых вязких мазутов в качестве котельных топлив приводит к выбросу больших количеств токсичных оксидов серы и азота и канцерогенных полициклоаренов, в первую очередь – бенз(а)пирена и пентаоксида

ванадия. В результате образования оксидов серы повышается точка росы уходящих топочных газов, что приводит к образованию серной кислоты и, как следствие, к частым ремонтам и замене хвостовых частей котельных агрегатов из-за их коррозии.

Неоднородность состава мазута (переменная вязкость и плотность перекачиваемой среды) является причиной нарушения не только гидродинамических, но и тепловых процессов, происходящих в теплообменных аппаратах мазутного хозяйства. Это приводит к повышенной коксуемости мазута, снижению качества его распыливания, ухудшению функционирования горелочных устройств, снижению качества процесса горения топлива в топках котлов, что в конечном итоге приводит к снижению экономичности, надежности, ухудшению экологии, уменьшению межремонтного цикла котельного агрегата в целом.

Другой, не менее важной проблемой теплоэнергетики является обработка, хранение и утилизация отходов и шламов. Отвалы золошлаковых материалов занимают огромные площади, а их содержание требует значимых эксплуатационных издержек, которые влияют на повышение себестоимости производства энергоносителей. Они являются источником загрязнения окружающей среды. По мере роста количества золошлаковых материалов растет и площадь территорий, отводимых под золоотвалы, что приводит к изъятию их из промышленного и сельскохозяйственного производства.

Большое количество карбонатного шлама (продукта водоумягчения природных вод известкованием и коагуляцией) образуется в результате работы систем химводоочистки (ХВО) на тепловых электростанциях. Карбонатный шлам как продукт, полученный химическим осаждением, обладает комплексом физико-химических свойств: определенным потенциалом ионизации, поверхностной активностью, высокой дисперсностью и так далее. Традиционно шламы ХВО складировались и временно накапливаются в шламоотвалах. Учитывая значительное количество накопленных шламов, безопасность, доступность и дешевизну они имеют хорошую перспективу для широкого использования с целью ресурсосбережения в энергетической отрасли, в частности, в качестве присадки к высокосернистым топочным мазутам.

Использование карбонатного шлама возможно только после обезвоживания или сушки при постоянной температуре 120-130°C. Высушенный шлам представляет собой сыпучий порошок от серого до

бурого цвета с влажностью не более 15% и массовой долей карбонатов кальция и магния – 80-88%. Состав шламов, образующийся при известковании и коагуляции природных вод, зависит от состава обрабатываемой воды и режима обработки, однако во всех случаях основным компонентом является карбонат кальция (75-85%), а также гидрооксиды магния и железа (по 4-8% каждого компонента) и кремнекислые и органические соединения [1].

Обезвоженный карбонатный шлак водоподготовки Казанской ТЭЦ-1 был испытан в качестве присадки к высокосернистому топочному мазуту марки М100 Нижнекамского НПЗ. В таблице 1 представлены результаты лабораторных испытаний, а в таблице 2 – результаты элементного анализа.

Таблица 1. Показатели качества топочного мазута марки М100 при использовании в качестве присадки карбонатного шлама

Определяемый показатель	Концентрация присадки в мазуте, % (масс.)						
	0	0,1	0,5	1	1,5	2	3
Вязкость условная при 80°C, °ВУ	13,4	13,3	13,2	13	12,9	12,8	12,5
Температура застывания, °С	7,3	4,8	3,6	3,8	3,5	1,7	0,7
Содержание влаги, %	1,7	2	2,1	2,2	2	1,8	2
Содержание серы, %	2,9	2,64	2,51	2,51	2,48	2,45	2,37
Теплота сгорания рабочая низшая, кДж/кг	39375	39467	39259	38984	38876	38133	38644
Зольность, %	0,127	0,377	1,144	1,74	2,21	2,73	3,25
Содержание механических примесей, %	0,217	0,395	0,56	0,67	0,87	1,203	1,44
Плотность при 20°C, кг/м ³	990	1014	1007	996	993	995	1000
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие						слабо-кислая
Кислотное число, мг КОН/г	~0						

Из таблицы 2 видно, что при добавлении присадки в топочный мазут количественного изменения по компонентам не происходит. Однако соединения присадки сорбируются на поверхности парафинов и оказывают положительное действие на реологические свойства мазута. Парафины при понижении температуры легко кристаллизуются и образуют пространственную структуру, в результате чего топливо теряет подвижность. Присадка же препятствует росту зарождающихся кристаллов и их ассоциации, в результате чего снижаются вязкость и температура застывания топочного мазута (таблица 1). В связи с этим уменьшаются энергозатраты на подогрев мазута и на его перекачку по трубопроводам.

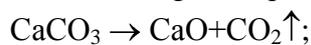
Таблица 2. Элементный состав топочного мазута марки М100 при использовании присадки

Топливо	Содержание, %			
	С	Н	S	N
Мазут М100	77,95±0,13	12,07±0,15	6,58±0,13	0,71±0,11
М100 + 0,1% масс. присадки	77,91±0,03	12,04±0,14	6,36±0,2	0,87±0,15
М100 + 0,5% масс. присадки	78,33±0,05	11,99±0,08	7,03±0,21	0,88±0,12

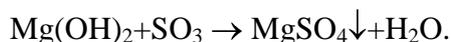
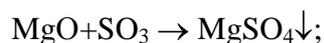
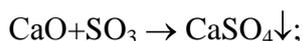
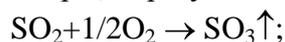
При сжигании топочного мазута в калориметре-интеграторе («калориметрической бомбе») было установлено, что происходит снижение содержания серы и теплоты сгорания топочного мазута по мере увеличения концентрации присадки в мазуте. Однако учитывая, что допустимое расхождение между параллельными опытами по ГОСТ 21261-91 «Нефтепродукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания» составляет 130 кДж/кг (31 ккал/кг), можно считать, что калорийность мазута не изменяется при добавлении в него присадки в количестве до 0,5% (масс.) [1].

Механизм действия присадки на оксиды серы, образующиеся при сжигании топочного мазута, можно представить следующими химическими реакциями.

1. Разложение соединений присадки – углекислого кальция CaCO_3 при $t \geq 900^\circ\text{C}$ и углекислого магния MgCO_3 при $t \geq 540^\circ\text{C}$:



2. Связывание оксидов серы, образующихся при горении мазута:



Кроме SO_2 непосредственно в факеле можно обнаружить двухатомную серу S_2 , сероводород H_2S и свободные радикалы SO , S , SH . При высоких температурах относительное содержание свободных радикалов SH , SO и S может достигать 30% от общего содержания серы. Свободные сернистые радикалы на определенном этапе превращений, по-видимому, также могут вступать в химические реакции с компонентами

присадки. Не исключено, что возможен и процесс адсорбции сернистых соединений на оксидах магния и кальция, а также на частицах золы. Проведенный элементный анализ состава золы (таблица 3), полученной при сжигании мазута с присадкой, доказывает возможность протекания описанных выше процессов.

Таблица 3. Элементный состав золы мазута с присадкой

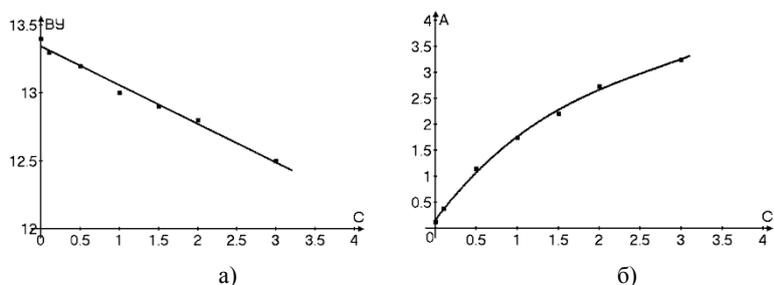
Номер опыта	Содержание компонентов, %					
	Mg	S	Ca	Fe	Na	Al
1	8,73	3,31	14,38	20,05	8,25	9,68
2	8,76	3,96	14,65	20,42	8,41	9,86

Таким образом, предложенная присадка к мазуту в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки позволяет химически связывать серу, содержащуюся в топливе в процессе его сгорания, тем самым уменьшая низкотемпературную (сернокислотную) коррозию поверхностей нагрева и выбросы оксидов серы в атмосферу [2]. Кроме того, результаты испытаний показали, что с увеличением массовой доли присадки в мазуте повышается его зольность и содержание механических примесей. Однако при этом зольный остаток, полученный при сжигании мазута марки М100 с присадкой, является порошкообразным и более рыхлым и может легко удаляться с поверхностей нагрева под небольшим механическим воздействием или осыпаться под действием своего веса по сравнению с липкой золой, полученной при сжигании необработанного присадкой мазута. Однако согласно ГОСТ 10585-99 «Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия» зольность мазута должна оставаться минимальной, а содержание механических примесей не превышать 0,5%, что соответствует значению предельно-допустимой концентрации присадки в мазуте не более 0,5% (масс.).

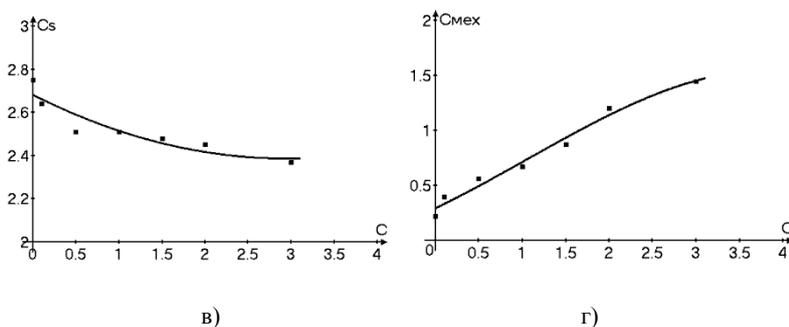
Все экспериментальные данные подвергались статистической обработке, в ходе которой результаты экспериментальных исследований с учетом погрешности эксперимента были обобщены в расчетные уравнения. Полученные уравнения и результаты экспериментальных исследований с учетом погрешности эксперимента в графическом виде представлены на рис. 1 [2].

С учетом требований, предъявляемых к работе оборудования мазутного и присадочного хозяйств на ТЭЦ, была разработана схема дозирования присадки во всасывающий коллектор мазутных насосов.

Проведены испытания котельного агрегата ТГМ-84 «Б» Новочебоксарской ТЭЦ-3 согласно разработанной рабочей программы проведения режимно-наладочных испытаний, которые показали, что при сжигании топочного мазута марки М100 с присадкой КПД брутто энергетического котла ТГМ-84«Б» повышается на 0,7% по сравнению со сжиганием мазута марки М100, необработанного присадкой.



- экспериментальные значения
- расчетная кривая ($Y(x) = -0,285x + 13,34$) ■ экспериментальные значения
- расчетная кривая ($Y(x) = 0,07x^3 - 0,55x^2 + 2,09x + 0,16$)



- экспериментальные значения
- расчетная кривая ($Y(x) = 0,03x^2 - 0,2x + 2,68$)
- экспериментальные значения
- расчетная кривая ($Y(x) = -0,02x^3 + 0,06x^2 + 0,38x + 0,29$)

Рис. 1. Зависимость условной вязкости мазута при $t=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а), зольности (б), содержания серы (в) и механических примесей (г) от концентрации присадки

По штатным щитовым и местным эксплуатационным приборам производились следующие измерения: расход, температура и давление питательной воды; расход, температура и давление перегретого пара; давление, температура и вязкость мазута с присадкой перед горелками; расход мазута с присадкой на котел; температура, разрежение и давление по газо-воздушному тракту; температура уходящих газов, холодного воздуха, воздуха после ВП; разрежение в топке. Дополнительно

устанавливаемым газоанализатором измерялись температура дымовых газов, разрежение за котлом и содержание SO_x , NO_x , O_2 , CO в продуктах сгорания в контролируемой точке.

На основе собранных данных была составлена режимная карта с указанием оптимальных параметров работы котельного агрегата на топочном мазуте с присадкой в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки Казанской ТЭЦ-1, а также определены технико-экономические (КПД котла брутто) и экологические показатели (SO_x в дымовых газах) работы котлоагрегата на мазуте с указанной выше присадкой. Кроме того, был проведен анализ состава дымовых газов при сжигании чистого мазута и мазута с присадкой в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки Казанской ТЭЦ-1 (таблица 4).

Таблица 4. Состав дымовых газов

Содержание в продуктах сгорания, %	Результаты анализа	
	мазут без присадки	мазут с присадкой
Кислорода	4,6	4,6
Оксида углерода (II)	58,2	58,2
Оксидов азота (NO_x)	3,8	3,7
Оксидов серы (SO_x)	2,8	2,2
Твердых частиц	0,04	0,1

Таким образом, согласно результатам промышленных испытаний, происходит снижение содержания оксидов серы в дымовых газах на 0,6% и, как следствие, снижение температуры уходящих газов и повышение КПД брутто котельного агрегата на 0,7%.

Для корректной экономической оценки эффективности инвестиций на внедрение дозировочного комплекса присадки на базе одноступенчатой схемы мазутного хозяйства был выбран метод расчета чистого дисконтированного дохода. Расчет проводился для парового котла ТГМ-84«Б», работающего на топочном мазуте марки М100 при максимальной нагрузке.

Результаты расчета (таблица 5) показали, что экономический эффект составляет около 4981 тыс. руб./год при капитальных затратах 1382 тыс. руб. при условии, что мазут используется как основное топливо, а присадка в количестве 0,5% (масс.) не снижает теплотворную способность мазута. Также был проведен расчет предотвращенного

экологического ущерба атмосфере и земельным ресурсам, который суммарно составил 1199 тыс. руб./год.

Таблица 5. Оценка экономической эффективности использования присадки к мазуту

Наименование показателей	Величина
Расход мазута при максимально допустимой нагрузке, т/ч	28,8
Стоимость мазута по факту на декабрь 2010 г., руб./т	5882
Себестоимость присадки по факту на декабрь 2010 г., руб./т	5500
Себестоимость электрической энергии по факту на декабрь 2010 г., руб./кВт·ч	0,7
Ориентировочная стоимость дозирующего комплекса присадки с учетом монтажа, тыс. руб.	1382
Среднегодовая стоимость присадки в расчете 5 кг на одну тонну мазута, тыс. руб./год	6938
Среднегодовые затраты на заработную плату, тыс. руб./год	1000
Годовые затраты на обслуживание и ремонт дозирующего устройства, тыс. руб./год	248,8
Годовые затраты на амортизационные отчисления, тыс. руб./год	82,9
Годовые затраты на оплату энергетических ресурсов, тыс. руб./год	53,6
Годовые затраты на прочие расходы, тыс. руб./год	89,6
Экономия затрат на топливо при внедрении присадки, тыс. руб./год	7420
Снижение платежей за выбросы оксидов серы с учетом регионального коэффициента, тыс. руб./год	64
Снижение производственных издержек на проведение ремонтных работ, связанных с коррозией поверхностей нагрева, тыс. руб./год	8850
Эксплуатационные издержки, тыс. руб./год	8413
Экономия от внедрения, тыс. руб./год	16349
Чистый доход, тыс. руб./год	4981
Индекс доходности	4,6
Срок окупаемости, мес.	4

Использование в расчетах указанного методического подхода позволяет в допустимых рамках сделать принципиальные выводы об эффективности внедрения присадки к мазуту с учетом следующих факторов: стоимости дозирующего устройства и присадки; типа котла; режимных факторов; характеристик мазута; затрат на ремонт поверхностей нагрева; удельных расходов топлива, потерь топлива на пуски котлов и региональных особенностей. Индекс доходности капитальных затрат изменяется от 4,6 и выше в зависимости от цены мазута и нормы дисконта, следовательно, при повышении цен на мазут эффективность применения присадки увеличивается [3].

Выводы

1. На основании теоретических, расчетных и экспериментальных данных разработана принципиальная схема дозирования присадки к мазуту, выбраны режимные и конструктивные характеристики смесителя для однородного распределения присадки в мазуте.

2. Даны рекомендации по внедрению предложенной многофункциональной присадки к топочному мазуту в виде обезвоженного карбонатного шлама и дозирующего комплекса на базе одноступенчатой схемы мазутного хозяйства Казанской ТЭЦ-1.

3. Экономический эффект применения обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки в качестве многофункциональной присадки к топочному мазуту составляет 4981 тыс. руб./год, а срок окупаемости – 4 мес. Суммарный предотвращенный экологический ущерб составляет 1199 тыс. руб./год.

Источники

1. Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андрияшина И.А. Влияние присадки на эксплуатационные свойства топочных мазутов // Химия и технология топлив и масел. 2009. № 5. С. 31-33.
2. Зверева Э.Р. Повышение качества топочных мазутов // Бултеровские сообщения. 2011. Т. 25. № 4. С. 99-104.
3. Зверева Э.Р. Ресурсо- энергосберегающие технологии в мазутных хозяйствах тепловых электрических станций: монография. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 184 с.

Зарегистрирована 21.11.2011 г.