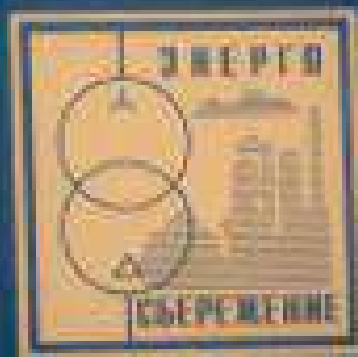


ISSN 2022-1116

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

2021

INDUSTRIAL POWER ENGINEERING





ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ежемесячный производственно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНЭНЕРГО РОССИИ, ПАО "ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕЭС",
КОРПОРАЦИЯ "ЕДИНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС", НТФ "ЭНЕРГОПРОГРЕСС",
НП "НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ЕЭС"

7
Июль
2021

Издается с августа 1944 года

Москва, НТФ "Энергопрогресс"

СОДЕРЖАНИЕ

Проекты и исследования

Ефимов А. Р., Пронин М. А., Михеев Д. В.
Пути и принципы интеграции логистического
подхода в промышленную электроэнергетику в
современных условиях

Созинов А. Г., Ахмедова О. О. Анализ влияния
изменения погодных параметров воздушной
линии электропередачи под действием
внешних факторов на уставку срабатывания
дистанционной защиты

Зверева Э. Р., Дмитриев А. В., Назаров А. И.,
Бурганова Ф. И., Гурьянова А. Э., Плотникова
В. П., Зверев Л. О. Изучение влияния
карбонатной присадки на реологические
свойства нефтяного котельного топлива

Альтернативные источники энергии

Литас В. И., Третьяков А. О., Яворовский Ю. В.
Оценка сравнительной эффективности источников
электрической энергии

Пурдин М. С., Гаряев А. Б. Численное моделирование
естественной аккумуляции теплоты в
грунте при сезонном промерзании

2 Дубинин В. С., Безруких П. П., Крупский В. П.
Мини-ТЭЦ для сельского поселения, работающая
на отходах древесины

Энергетика за рубежом

Коверникова Л. И., Войтов О. Н., Семенова
Л. В., Буй Н. Х. Оптимизационный алгоритм
определения мощности активных фальт-
ров гармоник

Некролог — Абрамович Борис Николаевич
(1937 г. — 2021 г.)

3 стр.
обложка

Изучение влияния карбонатной присадки на реологические свойства нефтяного котельного топлива

Зверева Э. Р., Дмитриев А. В., доктора техн. наук,
Назаров А. И., студент, Бурганова Ф. И., соискатель, Гурьянова А. Э., студентка
ФГБОУ ВО "Казанский государственный энергетический университет"

Плотникова В. П., канд. экон. наук
ПАО ТГК-1, г. Санкт-Петербург

Зверев Л. О., студент

ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна", Высшая школа технологий и энергетики

Представлены результаты исследований по влиянию карбонатной присадки на реологические свойства мазута. Присадка на основе карбонатного шлама адсорбируется на поверхности кристаллов парафина, уменьшает их поверхностную энергию и мешает сближению и ассоциации кристаллов в упорядоченную структуру, оказывая тем самым положительное действие на реологические свойства мазута: снижаются вязкость и температура застывания топочного мазута. В связи с этим уменьшаются энергетические затраты на подогрев мазута и на его перекачку по трубопроводам. При добавлении присадки с массовой концентрацией, равной 0,5 %, энергетические затраты на перекачивание мазута при ламинарном режиме сократятся на 1,6 %, а при турбулентном — на 0,4 %. Режим течения зависит от скорости и диаметра трубопровода, а также от реологии перекачиваемой жидкости.

Ключевые слова: котельное топливо, карбонатная присадка, вязкость, температура застывания, насос, электроэнергия.

Мазутное топливо используется в основном в котельных и на тепловых электростанциях как растопочное или резервное. Его качество влияет на количество вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при сжигании, и на работу основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Использование высокосернистого мазута приводит к тому, что при сжигании топлива происходит заметное выделение в атмосферу токсичных оксидов серы и азота, бензапирена, пентахлорида ванадия [1].

Заметной тенденцией развития российской нефтеперерабатывающей отрасли сегодня является увеличение глубины переработки нефти с целью повлиять на объем выпуска высококачественного нефтепродукта для потребителя. Однако по мере углубления переработки нефти доля примесного мазута в котельном топливе снижается, доля тяжелых фракций (гудрона и других остатков крекинг-процессов) растет, что приводит к снижению качества котельного топлива [2, 3].

Одним из важных проблем предприятий нефтяно-газодобывающего комплекса является переработка, хранение, утилизация отходов

и шламов. Золошлаковые отвалы требуют огромных площадей. Для организации и поддержания таких площадок необходимы значительные материальные ресурсы. Они являются основным источником загрязнения окружающей биосферы. Организация золоотвалов приводит к изъятию из промышленности и сельскохозяйственного производства огромных площадей земли [4].

При эксплуатации систем химической очистки воды (ХВО) на электростанциях образуются карбонатные шламы. Они традиционно складываются в шламоотвалах. Утилизация шламов ХВО — важная экологическая проблема на всей территории России. С ростом общего объема промышленных отходов, их негативного воздействия на окружающую среду задача выбора оптимальной технологии утилизации шламов водоподготовки становится все более актуальной. Учитывая многочисленные недостатки и опасности, доступные относительно безопасные, имеются неплохие перспективы для широкого использования ш

мов и целях ресурсосбережения в энергетике, в частности, в качестве добавки к высокосернистому мазуту.

Состав шламов, образующихся при коагуляции и известковании природных вод, зависит от состава обрабатываемой воды и режима обработки, но ведущим компонентом всё же является карбонат кальция (75 – 85 %). Присутствуют также гидроксиды железа и магния (4 – 8 % каждого компонента) и органические и кремниевые соединения.

Ухудшение качества мазута приводит к ухудшению его стабильности и эффективности горения. При хранении низкокачественных мазутов увеличивается количество осадка в резервуарах, при эксплуатации снижается КПД котельного оборудования, с дымовыми газами в окружающую среду поступает повышенное количество оксидов серы [3].

Простым и эффективным выходом из сложившейся ситуации является использование специальных веществ — присадок. Присадки к остаточным топливам могут улучшать их реологические свойства, оказывать антикоррозионное, депрессорное, нейтрализующее, диспергирующее и эмульгирующее воздействие [4, 5].

Обработка мазута присадками необходима как при его хранении в резервуарах, так и при подготовке непосредственно к сжиганию. К достоинствам данного метода следует отнести простоту использования, низкие энергетические и капитальные затраты, возможность применения в качестве присадок отходов производства.

Результаты экспериментальных исследований влияния присадки на эксплуатационные свойства топочного мазута

Карбонатный шлам водоподготовки Казанской ТЭЦ-1 (КТЭЦ-1) был испытан в качестве присадки на высокосернистом топочном мазуте марки М 100 Нижнекамского НПЗ, который используется в филиале АО «Татэнерго» в качестве аварийного и резервного топлива.

Структурно-групповой состав топочного мазута марки М 100 Нижнекамского НПЗ приведен в таблице.

Как видно, он на 49,2 % представлен парафиновыми углеводородами.

Большинство нефтей в России и соответствующих нефтепродуктов, получаемых из них, являются высокопарафинистыми. Из-за повышенного содержания парафина ухудшаются эксплуатационные свойства нефти (подвижность,

текучесть). Это обусловлено большим количеством алканов нормального и малоразветвленного строения, для которых характерна высокая температура застывания. В результате ухудшается процесс добычи и транспортирования нефти [5]. Значительное влияние на кристаллообразование парафина оказывают форма и размеры образующихся кристаллов. Данные характеристичны в основном зависят от температурных условий охлаждения нефти, влажности и присутствия асфальтосмолистых веществ. Парафины при снижении температуры образуют в нефти кристаллические решетки с жидкой фазой в ячейках. В результате существенно повышается вязкость нефти. Поэтому с увеличением содержания парафиновой и нефти ее текучесть резко снижается [6, 7].

Для изучения реологических свойств мазута М 100 были приняты условная вязкость при температурах 80 и 90 °С (рис. 1, 2) и температура застывания в зависимости от содержания в нем карбонатной присадки (рис. 3).

Испытания по определению условной вязкости проводились в соответствии с ГОСТ 6258-85 «Межгосударственный стандарт. Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости» на приборе ВУ-М-ПХП. Относительная погрешность измерений составила 0,1 – 0,9 %.

По полученным экспериментальным данным можно предположить следующий механизм воздействия карбонатной присадки на мазутное топливо: содержащиеся в топливе парафины (49,2 %) при снижении температуры выделяют кристаллы, образующие пространственную структуру, в результате чего топливо теряет подвижность. Присадка на основе карбонатного шлама адсорбируется на поверхности кристаллов парафина, уменьшает их поверхностную энергию и мешает сближению и ассоциации кристаллов парафинов в упорядоченную структуру, оказывая тем самым положительное воздействие на реологические свойства мазута: снижаются вязкость

Структурно-групповой состав топочного мазута марки М100

Группы углеводородов	Формула	Содержание, %
Парафиновые	$C_n H_{2n+2}$	49,2
Ароматические	$C_n H_{2n-6}$	42,6
Нафтеновые	$C_n H_{2n}$	8,2

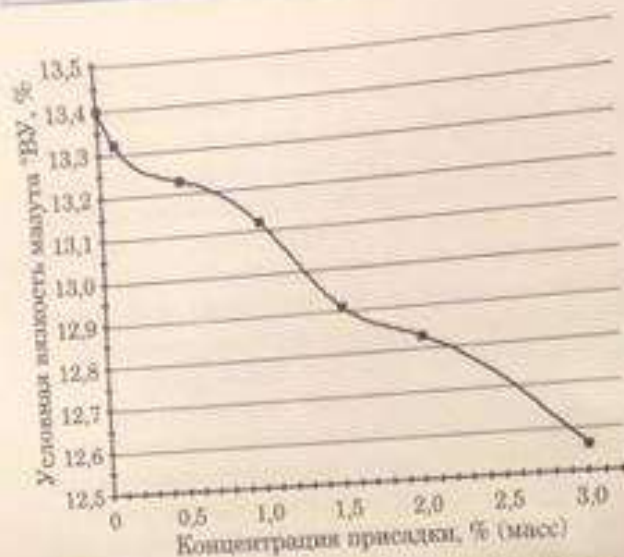


Рис. 1. Зависимость условной вязкости мазута М 100 от концентрации присадки при $t = 80\text{ }^\circ\text{C}$

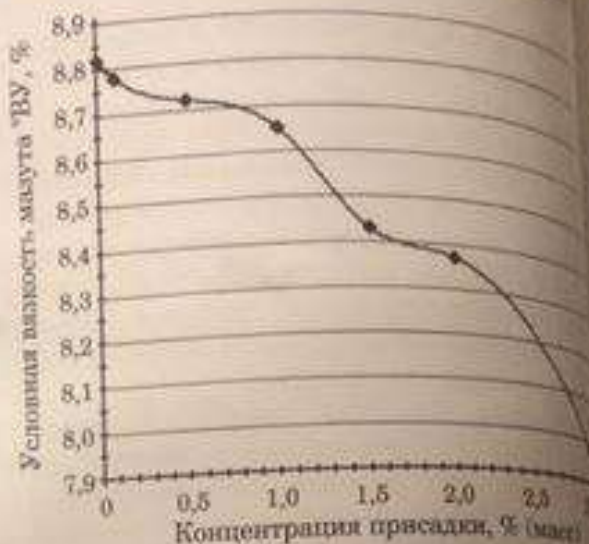


Рис. 2. Зависимость условной вязкости мазута М 100 от концентрации присадки при $t = 90\text{ }^\circ\text{C}$

и температура застывания топочного мазута. В связи с этим снижаются энергетические затраты на подогрев мазута и на его перекачку по трубопроводам [2, 8, 9].

Результаты промышленных испытаний в филиале ОАО «Татэверго» «Набережночелнинская ТЭЦ» по сжиганию мазута М 100 с карбонатной присадкой показали снижение выбрасываемых оксидов серы на 36,5% (масс.). Предотвращенный ущерб атмосфере при использовании карбонатного шлама в количестве 0,1% (масс.) в качестве присадки мазута марки М 100 составил 8 331 693,7 руб/год на одну котельную установку при расходе мазута 13 824 т/год [10].

Таким образом, как показали лабораторные и промышленные испытания, присадка в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки позволяет снижать вязкость и химически связывать серу, содержащуюся в мазуте, в процессе его сгорания, тем самым уменьшая низкотемпературную коррозию поверхностей нагрева и выбросы оксидов серы в атмосферу.

Как показали экспериментальные исследования, при добавлении карбонатной присадки в количестве 0,5% (масс.) происходит снижение условной вязкости мазута. В связи с этим можно сделать вывод об уменьшении требуемой мощности насосов для прокачки мазута по трубопроводу. Опытным путем выяснено, что условная вязкость мазута М 100 Нижнекамского НПЗ без присадки $E_{11} = 13,4\text{ }^\circ\text{ВУ}$, а вязкость мазута с присадкой 0,5% (масс.) $E_{12} =$

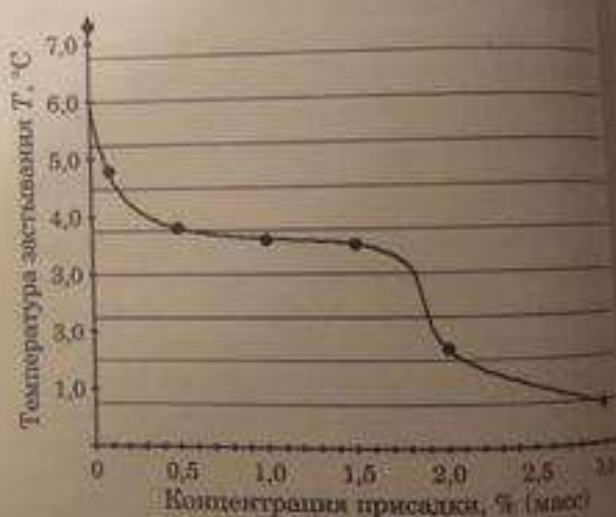


Рис. 3. Зависимость температуры застывания мазута М 100 от концентрации присадки

$= 13,2\text{ }^\circ\text{ВУ}$. При переводе условной вязкости в линейчатическую получаем:

$$v_1 = 0,07319 E_{11} - \frac{0,0631}{E_{11}} = 0,07319 \cdot 13,4 - \frac{0,0631}{13,4} = 0,976 \text{ Ст.}$$

$$v_2 = 0,07319 E_{12} - \frac{0,0631}{E_{12}} = 0,07319 \cdot 13,2 - \frac{0,0631}{13,2} = 0,961 \text{ Ст.}$$

Мощность насоса зависит от гидравлического сопротивления линий всасывания и нагнетания.

гнетания, которое в свою очередь зависит от вязкости перекачиваемой среды. Таким образом, можно рассчитывать на сколько процентов снизится мощность, потребляемая насосом для перекачки мазута.

Рассмотрим два возможных варианта режима течения мазута по трубопроводу: ламинарный и турбулентный. Коэффициент гидравлического трения в первом случае можно определить, используя формулу Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

а при турбулентном режиме, используя формулу Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

Записывая отношение потери давления, рассчитанной при перекачивании мазута без присадки, к потере давления, рассчитанной для случая перекачивания мазута с присадкой, можно получить зависимости оценки снижения энергетических затрат для ламинарного и турбулентного режимов соответственно:

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{0,25}$$

Известно, что потребляемая насосом мощность линейно меняется при изменении гидравлического сопротивления. Следовательно, можно заключить, что при добавлении присадки с массовой концентрацией, равной 0,5 %, энергетические затраты на перекачивание мазута при ламинарном режиме сократятся на 1,6 %, а при турбулентном — на 0,4 %.

На примере насоса 10НД-6х1, предназначенного для прокачки мазута по трубопроводу, можно рассчитать экономическую эффективность использования присадки. Электрическая мощность насоса составляет 132 кВт. При ламинарном течении жидкости экономия составляет 72 709 руб. в год, при стоимости 1 кВт·ч, равной 3,93 руб. При турбулентном течении экономический эффект — 18 177 руб. в год.

Режим течения зависит от скорости и диаметра трубопровода, а также от реологии перекачиваемой жидкости. Мазут является неньютоновской жидкостью, поэтому в работе представлены оценочные расчеты.

Проведенные комплексные исследования показали, что использование отхода производ-

ства — карбонатного шлама позволяет улучшить реологические свойства нефтяного котельного топлива, что обеспечивает снижение затрат на его перекачку и транспортировку, уменьшение экологического ущерба от вредных выбросов оксидов серы и высвобождение земельных угодий, выделенные под золошлакоотвалы промышленных отходов.

Список литературы

1. Зройчиков, Н. А. Обзор технологий обработки мазута при хранении и подготовке к сжиганию в топках котельных установок / Н. А. Зройчиков, В. И. Корсакиных, В. С. Бороздин, А. В. Пай // Теплоэнергетика. — 2020. — № 2. — С. 36–45.
2. Таймаров, М. А. Сжигание мазута в котлах при различных компоновках горелок / М. А. Таймаров, Р. В. Ахметова, В. К. Ильин, С. М. Миргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. — Т. 20. — № 7–8. — С. 55–62.
3. Липантьев, Р. Е. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду / Р. Е. Липантьев, В. П. Тутубалдиев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2017. — Т. 19. — № 5–6. — С. 144–148.
4. Зверева, Э. Р. Ресурсо-, энергосберегающие технологии в мазутных хозяйствах тепловых электрических станций (монография). — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2010. — 138 с.
5. Данилов, А. М. Новый взгляд на присадки к топливам (обзор) / А. М. Данилов // Нефтехимия. — 2020. — Т. 6. — № 2. — С. 163–171.
6. Чернышева, Е. А. Разработка технологии подбора депрессорно-реологических присадок для парафинистых нефтей на основе принципов межмолекулярных взаимодействий в нефтяных дисперсных системах / Е. А. Чернышева, Ю. В. Кожельникова, Л. А. Смирнова, В. Е. Терентьев // Технологии нефти и газа. — 2010. — № 8 (71). — С. 40–43.
7. Гасанова, А. М. Получение тройных сополимеров гексена-1, дициклопентадиена и децилметакрилата и исследование их в качестве присадок к маслам / А. М. Гасанова, С. Б. Мамедов, Ф. Ю. Аптев, Б. А. Мамедов // Кипуа Problemleri. — 2017. — № 3. — С. 264–270.
8. Копыльцова, А. Б. Контроль качества нефти и нефтепродуктов: анализ серы. Часть 2. Состояние измерений в среднем и высоком диапазонах / А. Б. Копыльцова, В. П. Тарасов // Контроль качества продукции. — 2016. — № 11. — С. 53–59.
9. Митусова, Т. Н. Влияние диспергирующих присадок и компонентного состава на стабильность судовых высоковязких топлив / Т. Н. Митусова, В. К. Кондратьева, М. М. Лобанова, М. А. Ершов, В. А. Рудко // Известия Горного института. — 2017. — Т. 228. — С. 722–725.
10. Зверева, Э. Р. Результаты промышленной испытаний карбонатной присадки к мазуту / Э. Р. Зверева, А. В. Дмитриев, М. Ф. Шагеев, Г. Р. Ахметвалдиева // Теплоэнергетика. — 2017. — № 8. — С. 50–56.

References

1. Zroychikov N. A., Kormilitsyn V. I., Borozdin V. S., Pui A. V. *Teploenergetika* (Teploenergetika), 2020, No. 2, pp. 36 - 45.
2. Taimarov M. A., Akhmetova R. V., Iyin V. K., Margulis S. M. *Izv. Rossiiskoi akademii nauk. Problemy energetiki* (Izv. of the Russian Academy of Sciences. Energy Problems), 2018, Vol. 20, No. 7 - 8, pp. 55 - 62.
3. Lipant'ev R. E., Tutubalina V. P. *Izv. Rossiiskoi akademii nauk. Problemy energetiki* (Izv. of the Russian Academy of Sciences. Energy Problems), 2017, Vol. 19, No. 5 - 6, pp. 144 - 148.
4. Zvereva E. R. *Resurso-, energosberegayushchie tehnologii v mazutnykh khozyaistvakh teplovykh elektricheskikh stantsii* (Resource and energy saving technologies in fuel oil facilities of thermal power plants). Kazan, Kazan State Power Engineering University, 2010, 138 p.
5. Danilov A. M. *Neftekhimiya* (Pardobirly), 2020, Vol. 6, No. 2, pp. 163 - 171.
6. Chernysheva E. A., Kozhevnikova Y. A., Terentyev V. Ye. *Tekhnologiya gaza* (Oil and Gas Technologies), 2020, No. 1, pp. 40 - 43.
7. Gasanova A. M., Mamedli S. B., Akhmedov B. A. *Kimya Problemleri* (Chemistry Problems), 2017, No. 3, pp. 264 - 270.
8. Kopyltsova A. B., Tarasov B. P. *Kontrollirovaniye produktsii* (Product Quality Control), 2017, No. 11, pp. 53 - 59.
9. Mitusova T. N., Kondrasheva N. K., Kozlov M. M., Ershov M. A., Rudko V. A. *Zhurnal gosudarstvennogo instituta* (Journal of Mining Institute), 2017, Vol. 228, pp. 722 - 725.
10. Zvereva E. R., Dmitriev A. V., Shapovalov A. V., Akhmetvalieva G. R. *Teploenergetika* (Teploenergetika), 2017, No. 8, pp. 50 - 55.

6elvira6@list.ru

Study of the effect of carbonate additives on the rheological properties of crude petroleum fuel oil

Zvereva E. R., Dmitriev A. V., Nazarov A. I., Burganova F. I., Gur'yanova A. É., Plotnikova V. P., Zverev L. O.

The results of studying the effect of carbonate additives on the rheological properties of boiler oils are presented. An additive based on carbonate sludge is adsorbed on the surface of paraffin crystals, reduces their surface energy and interferes with the convergence and association of crystals into an ordered structure, thereby exerting a positive effect on the rheological properties of boiler oils: the viscosity and pour point of a boiler oil are reduced. In this regard, the energy costs for heating boiler oil and pumping it through pipelines are also reduced. When introducing an additive with a mass concentration of 0.5% and 0.4%, respectively, the energy consumption for pumping boiler oil in the laminar and turbulent modes decreases by 1.6 and 0.4%, respectively. The flow regime depends on the speed and diameter of the pipeline, as well as on the rheology of the pumped liquid.

Keywords: boiler fuel, carbonate additive, viscosity, pour point, pump, electricity.