

УДК 662.6, 665.637.5

***ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ МАЗУТА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В  
ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ОБЪЕКТОВ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ***

***Сафина Л.З.***

*студент,*

*ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»*

*Казань, Россия*

***Ляпин А.И.***

*к.т.н., доцент,*

*ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»*

*Казань, Россия*

**Аннотация**

В работе рассмотрены технологии обеспечения требуемых свойств мазута для его использования в горелочных устройствах, с целью повышения эффективности и экологических показателей работы теплоэнергетических установок и систем. Приведено обобщение и анализ технологических решений, различных методов обработки и подготовки мазута, влияния характеристик мазута на процесс сжигания, а также на количество и состав образуемых продуктов горения. В работе показано, как различные подходы и технологии сочетаются между собой, приведены достоинства, недостатки реализуемых технологий, и существующие ограничения применения и развития данных технологий в энергетической отрасли.

**Ключевые слова:** мазут, подготовка к сжиганию, горелочные устройства, продукты сгорания, энергетическая эффективность, экологические показатели.

***TECHNOLOGIES OF PREPARATION OF FUEL OIL FOR USE IN BURNER  
DEVICES OF BOILER INSTALLATIONS OF OBJECTS OF THERMAL  
POWER ENGINEERING AND INDUSTRY***

***Safina L.Z.***

*student,*

*Kazan State Power Engineering University*

*Kazan, Russia*

***Lyapin A.I.***

*PhD, Associate Professor,*

*Kazan State Power Engineering University*

*Kazan, Russia*

**Abstract**

The paper considers technologies for providing the required properties of fuel oil for its use in burner devices, in order to increase the efficiency and environmental performance of thermal power plants and systems. A generalization and analysis of technological solutions, various methods of processing and preparation of fuel oil, the influence of fuel oil characteristics on the combustion process, as well as on the quantity and composition of the burning products formed are given. The paper shows how different approaches and technologies are combined with each other, the advantages and disadvantages of the implemented technologies, and the existing limitations of the application and development of these technologies in the energy industry.

**Keywords:** fuel oil, preparation for combustion, burner devices, combustion products, energy efficiency, environmental indicators.

В условиях необходимости рационального природопользования и возрастающих экологических требований к объектам теплоэнергетики и Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

промышленности, эффективное использование мазута представляется важной задачей. На тепловых электростанциях мазут обычно применяется как резервное топливо, при этом является ценным, дорогостоящим химическим сырьем. К важнейшим эксплуатационным характеристикам мазута можно отнести: вязкость, плотность, избыточное содержание серы в его составе, наличие коррозионно-опасных газов при сжигании. При значении влажности выше 1 % мазут становится обводненным, что отрицательно сказывается на горении и может привести к угасанию факела в горелочных устройствах котельных агрегатов и печного хозяйства. Неполнота сгорания топлива может приводить к образованию коксового нагара на поверхностях нагрева котлоагрегатов, тем самым увеличивая эксплуатационные расходы и время простоя оборудования. Транспортировка и хранение мазута требуют особых условий, так как к его застыванию приводят низкие температуры. Все эти факторы в настоящее время препятствуют его более широкому использованию.

Процесс сжигания мазута можно условно разделить на три этапа: испарение, пиролиз и горение. Опыт работы теплоэнергетических предприятий показывает, что повышение эффективности сжигания мазута может достигаться за счет его предварительной обработки, с целью улучшения состава топлива, обеспечения наилучших режимных параметров горения (с учетом его технологических, физических и параметрических характеристик).

Существует большое разнообразие методов, технологий и применяемых технических решений в области предварительной подготовки мазута для использования в горелочных устройствах котельных агрегатов. Далее приводится обзор популярных, перспективных и значимых для объектов энергетики и промышленности методов и технологий подготовки мазута к использованию в горелочных устройствах.

Наиболее широко применяемым методом можно назвать механическую очистку топлива. Эффективная работа объектов теплоэнергетики, использующих мазут, немыслима без механической очистки, являющейся традиционным методом подготовки топлива и основанной на комбинации методов отстаивания, фильтрации и сепарации. Отстаивание является простым и недорогим способом предварительной очистки больших мазутных хозяйств от воды в топливе, однако оно неэффективно для удаления мелких загрязнений. Фильтрация, которая лучше справляется с удалением механических примесей и смолистых веществ, используется после отстаивания, но требует регулярной замены фильтров. Применяются сетчатые (грубая очистка), мембранные и микрофильтры (тонкая очистка), магнитные, а также самоочищающиеся фильтры, которые минимизируют простой оборудования. В то же время, сепарация позволяет достигнуть высокой степени очистки от воды и мелких загрязнений, обеспечивая достаточно хорошее качество топлива для дальнейшей эксплуатации. В процессе механической очистки возникают потери топлива с отходами в количестве до 10 %, что к тому же увеличивает количество отходов, подлежащих утилизации, и повышает опасность загрязнения окружающей среды [6].

Тепловая обработка представляет собой важный этап подготовки мазута к сжиганию и транспортировке, широко применяемый в энергетике и промышленности в рамках технологических процессов. Снижая вязкость, такая обработка облегчает и улучшает процесс горения. Для эффективного сжигания мазут подогревают различными способами, используя электрические, паровые или масляные нагреватели. Однако неправильный температурный режим чреват негативными последствиями: низкая температура способствует образованию сажи, а чрезмерно высокая – разложению топлива.

В настоящее время для повышения эффективности процесса сжигания мазута применяется на практике диспергирование. Сам процесс заключается в измельчении крупных капель топлива и их равномерном распределении в воздушной или паровой среде для формирования тонкодисперсной смеси. Это позволяет существенно увеличить площадь поверхности топлива, что необходимо для более полного и эффективного сгорания. В основе самого процесса диспергирования могут лежать различные методы разделения и размельчения, такие как механическое, паровое, ультразвуковое и электростатическое распыление, обеспечивающие улучшенное смешивание мазута с кислородом и, как следствие, более полное его сгорание. Помимо повышения эффективности, диспергирование способствует снижению выбросов вредных веществ, уменьшению образования нагара, увеличению КПД комплекса теплогенерирующих устройств, а также позволяет использовать более вязкие и низкокачественные сорта мазута, стабилизирует факел горения и сокращает расход топлива. Однако, следует учитывать, что технология диспергирования требует определенных затрат на приобретение и эксплуатацию требуемого оборудования. Например, может потребоваться установка дополнительного насоса, при этом срок службы корпуса диспергатора относительно мал. Это обусловлено кавитацией, возникающей в потоке топливной смеси за стержнями. В этих зонах схлопывающиеся пузырьки газа генерируют ударные волны, которые разрушают внутреннюю поверхность корпуса, ослабляя конструкцию диспергатора [3].

Примечателен опыт центральной котельной в Ивангороде Ленинградской области. В 2001 году, в связи с прекращением подачи природного газа, на предприятии была предпринята попытка перейти на мазут, который хранился длительное время и содержал повышенное количество влаги. После переоборудования мазутного хозяйства по новой технологии, включающую в себя многоступенчатую непрерывную многократную обработку мазута, связанную с фильтрацией, нагревом и

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

диспергированием, удалось успешно сжечь все запасы резервного мазута. По результатам испытания было установлено: снижение видимости дыма до уровня газового топлива, уменьшение расхода пара для обдувки котлов в 2,5 раза, снижение затрат на техобслуживание и гарантированный розжиг котлов при аварийных остановках [4].

Для увеличения теплотворной способности топочного мазута на тепловых электростанциях часто используются специальные химические реагенты – присадки, которые взаимодействуют с молекулами топлива и изменяют его характеристики. При этом наблюдается снижение вязкости и улучшение текучести мазута. В последние годы наблюдается тенденция к замене органических растворителей на более экологичные водные реагенты и биоразлагаемые присадки, что снижает выбросы и минимизирует воздействие на окружающую среду. Активно разрабатываются присадки на основе местного сырья, что помогает уменьшить зависимость от импорта.

Отдельно следует сказать, что применение присадок сопровождается повышенным расходом топлива и формированием пористых отложений на теплообменных поверхностях котельного агрегата. В связи с этим, актуален поиск более действенных способов улучшения подготовки мазута к сжиганию. Одним из перспективных решений является электродуговая обработка, которая представляет собой метод обессеривания топлива, осуществляемый в электродуговом реакторе. Предварительно нагретый до 90 °С мазут под давлением поступает в реактор, где происходит обессеривание мазута благодаря возникновению электрической дуги, создаваемой колеблющимися графитовыми электродами, расположенными между неподвижными электродами из нержавеющей стали. Под действием высоких температур (до 1500 °С) сернистые соединения в мазуте разрушаются и переходят в парогазовое состояние.

Например, экспериментально установлено [2], что электродуговая обработка позволяет существенно улучшить эксплуатационные свойства

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

мазута М100 – снизить условную вязкость на 13 %, уменьшить плотность на 4,5 %, понизить температуру застывания на 26 %, увеличить теплоту сгорания на 13 %. Однако, необходимость дополнительной очистки от побочных продуктов, таких как сажа, а также высокие капитальные затраты на оборудование могут негативно сказаться на экономической эффективности работы котельного агрегата.

Установки на основе теплоэнергообменного реактора (РТЭО) представляют собой инновационное решение для повышения эффективности сжигания мазута. Внутри реактора происходят процессы физического воздействия на мазут, такие как ультразвуковая и гидродинамическая кавитация, давление звукового излучения, а также акустические течения. Ультразвуковая обработка может быть использована для приготовления эмульсий мазута с водой. Для этих целей генераторы образуют высокочастотный звук, повышается текучесть и однородность топлива, снижается вязкость. Что в свою очередь облегчает его перекачку и улучшает смешивание компонентов. Кавитационная технология создаёт микропузырьки в топливе, увеличивая площадь контакта с воздухом и обеспечивая эффективное горение с меньшим воздействием на окружающую среду. Процесс кавитации условно состоит из трёх этапов: измельчение массы топлива, разрушение сложных структур и очистка от примесей. Сжигание мазута без кавитационной обработки сопровождается отложением сажистых частиц несгоревшего мазута не только на экранных трубах топки, имеющих температуру около 340 °С, но и далее по газоходу котлов, особенно на поверхностях нагрева воздухоподогревателя [7]. Обработанное топливо становится тонкодисперсным и гомогенным, что позволяет ему храниться без потери свойств более одного года. Однако среди недостатков можно отметить высокую стоимость оборудования и риск механического повреждения оборудования – кавитационной эрозии. Если рассматривать практический опыт применения такой технологии, то установки РТЭО успешно

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

применяются на Ковдорском горно-обогатительном комбинате [8]. Они позволили на 10 % снизить расход мазута, уменьшить выбросы вредных веществ, тем самым сократить финансовые затраты предприятия за негативное воздействие на окружающую среду в 2-3 раза, повысить КПД котлоагрегатов и полноту сгорания, снизить высокотемпературную сернистую и ванадиевую коррозию, положительно повлиять на физико-химические свойства деградированного мазута, исключить расслоение топлива на мазут и воду при длительном хранении, а также обеспечить утилизацию отходов и стабильность мазута [8].

Технология эмульгирования позволяет снижать вязкость мазута за счет разбавления его водой. Водяные частицы покрываются защитной оболочкой, состоящей из наиболее тяжелых фракций мазута. Капли водо-топливной эмульсии подвергаются микровзрывам и тяжёлые фракции эффективно распыляются и подаются в горелочные устройства. Формирование идеальной структуры водно-топливной эмульсии зависит от применяемого гомогенизатора – виброкавитационного измельчителя. Благодаря технологии содержание углеводов сокращается, тем самым повышается полнота сгорания топлива, что уменьшает выбросы оксидов азота и сажи в окружающую среду. Даже после 10 месяцев хранения эмульсия сохраняет стабильность: вода не выделяется, а исходная структура легко восстанавливается при перемешивании. Использование эмульгирования мазута сопряжено с такими недостатками, как сложность конструкции оборудования, высокое энергопотребление и потребность в строгом контроле технологических параметров для обеспечения стабильности эмульсии. Многолетняя эксплуатация виброкавитационных измельчителей в непрерывном режиме показала их высокую надежность в котельных Санкт-Петербурга, Ленинградской, Псковской областей и республики Карелия [5].

В настоящее время в процессах нефтепереработки находит обширное применение магнитное воздействие, особенно в висбрекинге – процессе  
Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

получения котельного топлива из тяжелых остатков нефти. Под действием магнитного поля молекулы сырья активизируются, что приводит к максимально глубокому расщеплению тяжелых фракций, изменяется структура асфальто-смолистых веществ, снижается вязкость. Воздействие постоянного магнитного поля на нефтяные остатки снижает средний диаметр частиц дисперсной фазы, что приводит к увеличению дисперсности, и, следовательно, гомогенности нефтяных дисперсных систем, что благоприятно сказывается в дальнейшем при проведении процесса висбрекинга [1]. Висбрекинг мазута не является идеальным решением и обладает рядом важных ограничений. Высокие температуры и давления создают риски для пожарной безопасности. Кроме того, образование побочных продуктов – сернистых соединений, требует дополнительных мер по их утилизации и очистке. Установки висбрекинга зарекомендовали себя на многих нефтеперерабатывающих заводах отечественных компаний, среди которых можно выделить ПАО «НК «РОСНЕФТЬ», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ», АО «ТАНЕКО», АО «ТАИФ-НК», и др.

Таким образом, предварительная обработка мазута имеет важное практическое значение и актуальна для энергетической отрасли. Несмотря на то, что его объемы потребления сегодня не столь велики, мазут сохраняет свою значимость как резервный, и можно сказать стратегический вид топлива как для энергетических установок, так и для всего топливно-энергетического комплекса в целом. Существует множество технологий предварительной обработки, направленных на улучшение состава и эксплуатационных характеристик мазута, повышения экологических показателей процесса горения топлива, минимизацию образования отложений на оборудовании. При этом важно отметить, что каждое технологическое решение обладает своими преимуществами и недостатками. Не существует универсального метода, подходящего для всех котельных установок и печных устройств. На практике, часто используют сочетание различных способов, кроме того, Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

ведущие компании теплоэнергетики сегодня стремятся совершенствовать существующие технологии, а также разрабатывают новые, инновационные технологические решения предварительной обработки мазута и других отходов переработки нефти. Выбор конкретных технологий и их комбинаций всегда представляет собой сложную технико-экономическую задачу, требующую сопоставления затрат на их внедрение и предполагаемой выгоды.

### **Библиографический список:**

1. Ишмухамедов Р.Р. Влияние магнитного поля на результат висбрекинга нефтяного остаточного сырья / Р.Р. Ишмухамедов, О.Н. Козырев // Научные высказывания - № 10 (57), май 2024. – 45-48 с.
2. Липантьев Р.Е. Обессеривание мазута методом электродугового воздействия в системах топливоподготовки: автореф. дисс. ... к. т. н.: 02.00.13 / Р. Е. Липантьев. – Казань, 2015. - 161 с.
3. Пат. 2239491 С1 Российская Федерация МПК В01F 5/00. Диспергатор / Кормилицын В.И.; патентообладатель: Автономная некоммерческая организация "Секция "Инженерные проблемы стабильности и конверсии" Российской инженерной академии". – № 2003103405/15; заявл. 2003.02.05; опубл. 2004.11.10. – 12 с.
4. Пентюшенко А.Д. Опыт внедрения экологоэнергосберегающих технологий на котельной Ивангорода / А.Д. Пентюшенко, В.К. Тучков // Энергонадзоринформ, № 1, 2004 г. – 36–37 с.
5. Применение водно-топливных эмульсий (ВТЭ) в топливных технологиях / Neftegaz.ru. – 2010. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://neftegaz.ru/science/Energetika/332105-primenenie-vodno-toplivnykh-emulsiy-vte-v/> (Дата обращения: 10.05.2025).
6. Салова Е.С. Существующие проблемы при сжигании мазута / Е.С. Салова, Е.А. Бирюзова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 181-182 с.

7. Таймаров М.А. Влияние кавитационной обработки на выгорание частиц мазута в топках котлов / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, С.М. Маргулис, Л.И. Касимова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – Т. 20, № 9-10. – Казань: КГЭУ. – 2018. – 52-59 с.

8. Технологии подготовки топлива от ООО «Амадеус» / Нефтегазовая Промышленность №1 (3). – 2023. – 90-91 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://dprom.online/mtindustry/tehnologii-podgotovki-topliva-ot-ooo-amadeus/> (Дата обращения: 29.04.2025).

*Оригинальность 78%*