

УДК 621.45.3

**ФОРСУНКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ МАЗУТА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
АСПЕКТЫ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ  
THE FUEL OIL COMBUSTION NOZZLES: TECHNOLOGICAL  
ASPECTS AND APPLICATION PRACTICE**

А.О. Олешкевич, Т.С. Ярмош

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nicklevshin@gmail.com

A. Oleshkevich, T. Yarmosh

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной научной работе всесторонне исследуются вопросы, связанные с применением форсунок для эффективного сжигания мазута в промышленных условиях. Подробно анализируются конструктивные особенности различных типов форсунок, их рабочие характеристики и практические аспекты эксплуатации. На основе анализа технической документации ведущих производителей и многолетнего практического опыта представлены рекомендации по выбору, обслуживанию и ремонту форсунок. Особое внимание уделено современным тенденциям развития форсуночных технологий и перспективным направлениям совершенствования процессов сжигания мазута.

**Abstract:** this scientific paper comprehensively examines the issues related to the use of injectors for efficient combustion of fuel oil in industrial conditions. The design features of various types of injectors, their performance characteristics and practical aspects of operation are analyzed in detail. Based on the analysis of the technical documentation of leading manufacturers and many years of practical experience, recommendations on the selection, maintenance and repair of injectors are presented. Special attention is paid to current trends in the development of injection technologies and promising areas for improving fuel oil combustion processes.

**Ключевые слова:** мазутные форсунки, жидкотопливные горелки, промышленные котлы, эксплуатация топочного оборудования, техническое обслуживание, современные технологии сжигания.

**Keywords:** fuel oil injectors, liquid fuel burners, industrial boilers, operation of furnace equipment, maintenance, modern combustion technologies.

### **Введение**

В современной промышленной энергетике мазут продолжает оставаться стратегически важным видом топлива, несмотря на общую тенденцию перехода на газообразные энергоносители. Его использование особенно актуально для крупных энергетических объектов, металлургических предприятий и судовых силовых установок, где требуется надежный и экономичный источник тепловой

энергии. По данным последних исследований, доля мазута в топливном балансе промышленных предприятий России составляет около 18–23%, а в некоторых отраслях, таких как судостроение или цветная металлургия, достигает 35%. Главная особенность мазута как топлива – его исключительно высокая вязкость, которая при комнатной температуре делает топливо практически неподвижным и непригодным для непосредственного сжигания. Это свойство требует специальных технических решений для организации эффективного процесса горения. Именно форсунки играют ключевую роль в подготовке мазута к сжиганию, превращая густую жидкость в мелкодисперсную смесь, способную полностью сгорать с минимальным образованием вредных выбросов. Современные форсуночные технологии постоянно развиваются, реагируя на ужесточение экологических норм и требования повышения энергоэффективности промышленного оборудования. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к созданию универсальных форсунок, способных работать на различных видах жидкого топлива, включая биотопливо и отработанные масла. При этом сохраняется актуальность традиционных конструкций, доказавших свою надежность в различных условиях эксплуатации.

### **Основная часть**

Процесс подготовки мазута к сжиганию начинается с его нагрева до рабочей температуры, которая для разных марок колеблется в пределах 90–120°C. Этот этап крайне важен, так как именно температура определяет текучесть топлива и, следовательно, возможность его эффективного распыления. На практике часто используют двухступенчатую систему подогрева: сначала мазут нагревают до 60–70°C для обеспечения перекачки по трубопроводам, а затем непосредственно перед форсункой доводят до рабочей температуры. Особое внимание уделяют точному контролю температуры, так как перегрев выше 130–150°C (в зависимости от марки мазута) может привести к преждевременному воспламенению и опасным ситуациям. После подготовки мазут поступает в форсунку, где происходит его преобразование в мелкодисперсную смесь. Этот процесс основан на сложных физических принципах и требует тщательного инженерного расчета всех параметров. Качество распыления определяется несколькими ключевыми показателями: размером образующихся капель (оптимально 50–150 мкм), их распределением по объему факела, углом раскрытия струи и стабильностью характеристик при изменении нагрузки. Все эти параметры напрямую влияют на полноту сгорания, которая в современных форсунках достигает 99,2–99,7%. В промышленной практике получили распространение несколько основных типов форсунок, каждый из которых имеет свои особенности и область применения. Наиболее простыми по конструкции являются механические форсунки, где распыление происходит исключительно за счет высокого давления топлива. В таких системах мазут продавливается через узкое сопло под давлением от 1,5 до 3,5 МПа, что требует использования мощных топливных насосов. Преимущество этих форсунок – их относительная простота и независимость от дополнительных энергоносителей. Однако они

чувствительны к качеству топлива и требуют обязательной установки фильтров тонкой очистки с размером ячеек не более 50 мкм. Кроме того, механические форсунки имеют ограниченный диапазон регулировки производительности, что затрудняет их использование в установках с переменным режимом работы.

Более сложными, но и более эффективными являются паровые форсунки [1], в которых для распыления мазута используется энергия перегретого пара. В таких системах пар с давлением 0,6–1,0 МПа и температурой 200–280°C смешивается с топливом, обеспечивая его тонкое дробление даже при относительно низком давлении мазута (0,3–0,7 МПа). Это особенно важно при работе с высоковязкими сортами топлива. Паровые форсунки обеспечивают стабильное качество распыления при переменных нагрузках и способствуют более полному сгоранию тяжелых фракций мазута. Однако они требуют наличия развитого парового хозяйства и характеризуются повышенным уровнем шума при работе (до 110 дБ). Воздушные форсунки по принципу действия аналогичны паровым, но используют для распыления сжатый воздух давлением 0,3–0,6 МПа. Их главное преимущество – отсутствие необходимости в паровом оборудовании, что делает такие системы более удобными для небольших котельных и мобильных установок. Однако по эффективности распыления особо вязких сортов мазута они несколько уступают паровым аналогам. Особую категорию составляют ротационные форсунки, где распыление происходит за счет центробежных сил на вращающемся диске со скоростью 1500–8000 об/мин. Их главное преимущество – способность работать с особо вязкими сортами мазута (до 30°ВУ) без значительного подогрева. Кроме того, ротационные форсунки обеспечивают исключительно равномерное распределение топлива в факеле и позволяют плавно регулировать производительность в широком диапазоне. Однако сложность конструкции, необходимость в подшипниковых узлах и уплотнениях делают такие форсунки более требовательными к обслуживанию и ремонту.

В процессе эксплуатации мазутных форсунок специалисты сталкиваются с рядом характерных проблем, знание которых позволяет значительно продлить срок службы оборудования. Наиболее распространенной является закоксовывание рабочих органов из-за смолистых соединений, присутствующих в составе мазута [2]. Для борьбы с этим явлением применяют различные методы: регулярную продувку паром в процессе работы, периодические химические промывки специальными растворителями и механическую очистку при плановых остановках оборудования. Особое внимание уделяют очистке сопел и смесительных камер, где наиболее интенсивно образуются отложения. Другая серьезная проблема – коррозия деталей, вызванная содержанием серы (до 3,5%), ванадия и натрия в мазуте. Для защиты элементов форсунок используют специальные покрытия на основе керамики или жаропрочных сплавов, а также применяют ингибирующие присадки к топливу. Наибольшему коррозионному воздействию подвергаются паровые и паромеханические форсунки, где дополнительным фактором риска выступает высокая температура пара.

Неизбежный износ сопел и других рабочих элементов особенно характерен для механических форсунок, работающих под высоким давлением. В таких условиях скорость истечения топлива может достигать 120–150 м/с, что приводит к интенсивному абразивному износу. Для продления срока службы применяют сопла из особо прочных материалов (карбида вольфрама, керамики), а также устанавливают системы фильтрации топлива, удаляющие механические примеси. Современные тенденции развития мазутных форсунок демонстрируют несколько четких направлений [3]. Во-первых, это создание комбинированных систем, способных эффективно работать на различных видах жидкого топлива – от легкого печного до особо тяжелого мазута. Во-вторых, внедрение автоматизированных систем управления, которые в реальном времени корректируют параметры работы форсунки в зависимости от нагрузки и качества топлива. В-третьих, использование новых материалов (нанокерамика, композиты) для критически важных элементов, что значительно увеличивает их ресурс. Особый интерес представляют «интеллектуальные» форсунки с системами самодиагностики, которые способны предупреждать оператора о необходимости обслуживания или ремонта.

### **Заключение**

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. Современные мазутные форсунки представляют собой сложные технические устройства, эффективность которых определяется правильным выбором типа, качеством изготовления и соблюдением правил эксплуатации. Наибольшую перспективу имеют комбинированные системы, сочетающие преимущества различных принципов распыления. Дальнейшее развитие направлено на повышение надежности, внедрение систем автоматического контроля и расширение диапазона рабочих параметров. Практическая значимость работы заключается в систематизации знаний о современных форсуночных технологиях и выработке рекомендаций по выбору и эксплуатации оборудования. Представленные данные могут быть использованы при проектировании новых и модернизации существующих тепловых установок.

### **Литература**

1. Паровые форсунки: [сайт]. – Москва, 2004–2023. – URL: <http://www.combienergy.ru/katalog/1-Gazoturbinnye-elektrostantsii-GTES-kogeneracionnogo-cikla/53-GT-TEC-009M> (дата обращения: 14.04.2025).
2. Эксплуатация мазутных форсунок: [сайт]. – Москва, 2003–2024. – URL: <https://www.dissercat.com/content/kombinirovannaya-gazoturbinnaya-tehnologiya-preobrazovaniya-energii-na-baze-aviatsionnykh-g> (дата обращения: 14.04.2025).
3. Износ сопел: [сайт]. – Москва, 2003–2024. – URL: <http://www.combienergy.ru/katalog/1-Gazoturbinnye-elektrostantsii-GTES-kogeneracionnogo-cikla/53-GT-TEC-009M> (дата обращения 31.03.2025).