

ВОДНО-ТОПЛИВНЫЕ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ПРИВОДНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

Воскобойников Д.В., Кесель Б.А.
ОАО КПП «Авиамотор», г.Казань

В связи с постоянно растущими ценами на топливо и энергоносители вопрос о рациональном использовании и возможных вариантах энергообеспечения различного рода потребителей представляется особенно актуальным. Использование водо-топливных эмульсий, в качестве сырья энергетических установок и котлоагрегатов взамен традиционного топлива, позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, экономить сырье (керосин, мазут) и уменьшить вредные выбросы в атмосферу при их сжигании. Проблема получения такого рода эмульсий имеет существенное промышленное значение и для крупных тепловых электростанций использующих в качестве топлива мазут.

На ОАО КПП «Авиамотор» проведены работы по получению водо-топливных эмульсий и оценке возможности их использования в качестве сырья энергетических установок и котлоагрегатов взамен традиционного.

Важным направлением совершенствования существующей технологии является внедрение интенсивного смешения, обеспечивающего существенное увеличение поверхности раздела смешиваемых компонентов, концентрацию значительного количества энергии в малых объемах оборудования, возможность в ряде случаев, используя один и тот же вид оборудования, перемешивать среды различной вязкости, вести процесс, как в ламинарном, так и в турбулентном режимах.

В силу того, что технологические процессы с использованием установки РПА-Т (разработанной на ОАО КПП «Авиамотор») за счет комплексной механоакустической обработки протекают совмещенно и более интенсивно, чем в традиционно используемых технологиях, существенно уменьшается время обработки и, соответственно, снижаются прямые энергозатраты. Кроме того, процессы с использованием установки РПА, для достижения равных результатов, требуют существенно меньших температур обрабатываемой среды, что является дополнительным источником экономии по сравнению с известными технологическими процессами. Более того, из-за совмещения во времени (одновременного выполнения) технологических операций, которые традиционно выполняются последовательно с соответствующей подготовкой продукта (например, нагрев, диспергирование, пастеризация), очень большой эффект достигается в виде упрощения и ускорения самого технологического процесса, а также обслуживания аппаратуры и обеспечения вспомогательных процессов и операций.

О существовании и возможности получения эмульсии типа «вода в

масле» известно более века. Тем не менее, только недавно созданы технологии, с помощью которых можно управлять устойчивостью и качеством эмульсии, чтобы сделать возможным и выгодным их использование в промышленности и, в частности, для котельных и энергетических установок. Следует отметить ряд важных аспектов применения водо-топливных эмульсий (ВТЭ) – это экологичность, экономичность и технологичность их эксплуатации.

В отношении применения низкосортных топлив (в основном мазута), являющихся основными составляющими в общероссийском балансе потребления при производстве энергии, экологизация означает предотвращение выбросов в атмосферу, образующихся при сжигании сотен миллионов тонн в год различных вредных веществ, а также предотвращение загрязнения гидросферы и литосферы сточными водами, содержащими, в частности, нефтепродукты. Одной из технологий для теплоэнергетики, направленной на защиту атмосферного воздуха и водного бассейна от выбросов различных ингредиентов NO_x , CO , сажи, нефтепродуктов и других вредных веществ, является сжигание мазута в виде водо-мазутных эмульсий (ВМЭ) и водо-керосиновых (ВКЭ). Метод сжигания водо-мазутной эмульсии широко известен. В исследованиях, посвященных этому вопросу, установлено, что для достижения поставленной задачи ВМЭ должна быть приготовлена в виде однородной смеси мазута и добавляемой влаги по типу "вода-масло", в которой вода как дисперсная фаза в виде частиц диаметром несколько микрометров находится внутри топливной оболочки. Только при соблюдении этого условия и влажности водо-мазутной эмульсии до 20% обеспечиваются надежное воспламенение и устойчивое ее горение с высокой полнотой сгорания.

Технологический аспект использования ВТЭ нагляднее всего можно проследить при эксплуатации мазутных эмульсий. Так, для использования мазутов в качестве котельного топлива необходимо производить их обезвоживание отстаиванием в различных емкостях, часто с нагревом, перемешиванием и добавлением дорогостоящих реагентов-деэмульгаторов. Применение сильно обводненного топлива приводит к срыву факела и затуханию форсунок, а иногда вообще не удается зажечь форсунку, поскольку вода поглощает большое количество тепла на испарение массы капель. Попытки вторичного пуска котлоагрегатов сопровождаются сильными хлопками и разрушением топок вследствие накопления в них горючих газов. С другой стороны, имеется большое количество обводненных тяжелых топлив, предварительное обезвоживание которых сильно затруднено. К ним можно отнести высоковязкие мазуты, остатки тяжелых нефтей и природных битумов, нефтешламы, зачистки (отходы транспортировки нефтепродуктов с высокой степенью обводненности), различные смолы,

обводнение которых связано с особенностями их хранения и транспортировки. Отсюда вытекает задача получения устойчивых, однородных по степени дисперсности водо-топливных эмульсий. Можно сказать, что эксплуатационные недостатки, присущие такому типу сырья, как тяжелые обводненные мазуты, при работе по данной эмульсионной технологии превращаются в их достоинства.

Различные НИИ и компании довольно успешно проводят исследования и внедряют их результаты в крупномасштабные проекты. Опыт их эксплуатации показывает, что использование ВТЭ позволяет обеспечить сокращение коксообразования и уменьшение уровня окиси азота в дымовых газах. Во многих случаях возрастает термическая эффективность (к.п.д.), а также уменьшается вероятность неисправности горелок и топков.

Патентная проработка данной области исследования показывает значительный рост патентуемых технологий получения ВТЭ за рубежом. Таким образом, можно сделать вывод, что интерес к водо-топливным эмульсиям по всему миру значительно возрос.

Большинство из имеющихся в настоящее время аппаратов теоретически могут использоваться для этой цели. Некоторые работы показывают возможность получения ВТЭ в электродинамических, волновых и других аппаратах. Однако решающие роли при выборе эмульсионного аппарата следует отнести качеству получаемой эмульсии (стабильность, дисперсность) и технологическим факторам – материалу- и энергоемкости аппаратуры.

В качестве одного из наиболее эффективных аппаратов для эмульгирования ВТЭ можно назвать аппараты роторно-пульсационного типа, в частности РПА-Т. Гидроакустическое воздействие, определяемое в этом аппарате большими градиентами скоростей, высокими напряжениями сдвига и мощными кавитационными эффектами, является решающим технологическим фактором, за счет которого можно значительно повысить эффективность процессов эмульгирования.

При этом устойчивые водо-мазутные эмульсии с использованием устройства РПА-Т можно получить без особых проблем даже без использования ПАВ, но водо-керосиновые эмульсии высокой степени дисперсности и устойчивости могут быть получены только в присутствии специально подобранных ПАВ при условии эмульгирования компонентов «обратной» эмульсии при определенных режимах.

Целью проведенной работы, на ОАО КПП «Авиамотор», было создание устойчивых водо-топливных эмульсий (ВТЭ) типа «вода/топливо» на основе керосина авиационного марки ТС-1 и топочного мазута. В соответствии с поставленной задачей устойчивость эмульсии предполагается обеспечить в двух вариантах: в расчете на ее немедленное потребление в энер-

гетической установке (стабильность – до 1 часа), и со стабильностью до 24 часов.

Экспериментальная часть работы по созданию ВТЭ на основе ТС-1 была выполнена по нескольким этапам:

А) Определение возможности использования эмульгаторов из числа специально подобранных (или их композиции) путем подбора для получения водо-керосиновой эмульсии при содержании воды в эмульсии 5-15 %масс. Диапазон исследуемой обводненности был определен, исходя из имеющихся литературных данных по возможности получения водотопливных эмульсий, а также с учетом экономических соображений, поскольку получение эмульсий с содержанием воды более 20-30 % масс требует резкого увеличения расхода ПАВ.

На основании предварительных данных экспериментов были проведены испытания по получению водо-керосиновых эмульсий на аппарате РПА-Т. При проведении эксперимента содержание воды в эмульсии составляло 5,10,15,20% масс.

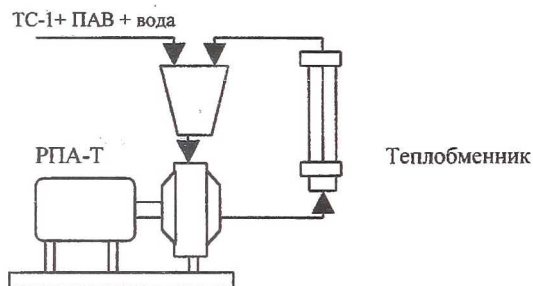


Рис.1 Схема экспериментальной установки получения ВТЭ

Обработка проводилась на установке, схема которой представлена на рис.1. Время обработки было выбрано исходя из следующих факторов: а) примерной расчетной производительности установки в производственных условиях; б) необходимости поддерживать оптимальную температуру, поскольку длительная обработка в РПА приводит к нагреву обрабатываемой среды, что значительно снижает стабильность полученной эмульсии.

Температурный режим обработки эмульсии составлял 20-25 °С и поддерживался при помощи теплообменника. Характеристики используемой воды: рН -8,74; Общая жесткость- 17,50ммоль/л

У полученных эмульсий, имеющих наибольшую устойчивость, определяли эксплуатационные характеристики, представленные в таблице 1. Устойчивость определяли в мерных цилиндрах при температуре 20 °С. Также установлено, что эти эмульсии устойчивы и при длительном хранении (более 15 суток).

Таблица 1

Эксплуатационные характеристики эмульсий (РПА-Т)

Показатель	Эмуль- сия №1	Эмуль- сия №2	Эмуль- сия №3	ТС-1
Дисперсность-dcp, мкм	0,54	0,62	0,93	--
Фильтруемость через 5мкм фильтр	выдер- живает	выдер- живает	выдер- живает	--
Плотность при 20 ⁰ С, кг/м ³	0,7905	0,8052	0,8182	не менее 0,775
Вязкость кинематическая при 20 ⁰ С, сСт	1,34	1,41	1,45	не менее 1,25
Температ. вспышки, ⁰ С	30	32	33	28

Дисперсность полученных эмульсий оценивалась по диаметру d (мкм) капель воды, распределенных в дисперсионной среде (керосине). Диаметр капель определялся с помощью фотоколориметра КФК-12. По результатам анализа средняя величина d для полученных эмульсий составила 0,8 ... 1,1 мкм. Устойчивость эмульсий определялась как время до начала выделения воды в отдельную фазу. Плотность эмульсий определялась по ГОСТ 3900-85, вязкость кинематическая – по ГОСТ 33-82, температура вспышки – по ГОСТ 6356-75.

В качестве исходного, для ВМЭ, сырья был взят сернистый мазут с приведенными в табл. 2 характеристиками. Эмульсии приготавливали с содержанием воды 10, 20 и 30 % масс. Использовалась жесткая вода. Для повышения чистоты эксперимента был взят полностью обезвоженный мазут. Характеристики полученных водо-мазутных эмульсий представлены в табл.2.

Таблица 2

Характеристика мазута

Показатели	Мазут	ВМЭ 10%	ВМЭ 20%	ВМЭ 30%
Плотность при 20 ⁰ С, г/см ³	1,0150	1,0109	1,0089	1,0051
ВУ ⁰ при 80 ⁰ С	42	43	46	45
Температура застывания, ⁰ С	22	25	27	28
Температура вспышки, ⁰ С	199	201	204	206
Содержание серы, % масс.	3,6	3,4	3,1	3,0
* Устойчивость, дней	--	более 15	более 15	менее 15

Дисперсность определялась на лабораторном оптическом микроскопе. Средний размер капель воды во всех полученных эмульсиях составил 3...6 мкм. Вязкость условная – по ГОСТ 6258-66, содержание серы – по ГОСТ 1437-75.

Устойчивость определялась как количество дней до начала расслоения, то есть выделения отдельной водной фазы, при свободном отстое (комнатная температура). Для 10%-ой эмульсии стабильность определялась также кипячением на водяной бане в течение 2 ч и последующим отстаиванием 24 ч. Результат этого анализа – отсутствие расслоения.

Проведенные исследования позволили получить высокоустойчивые ВТЭ и ВМЭ, физико-химические и эксплуатационные характеристики которых позволяют использовать их в качестве топлива для энергетических установок и котлоагрегатов. В результате экспериментальной работы по подбору режимов обработки на аппарате РПА-Т удалось установить оптимальные параметры процесса.

Было обнаружено, что водо-керосиновые эмульсии, полученные на установке с использованием ПАВа, во всем диапазоне концентраций воды показывают хорошую стабильность. При этом стабильность эмульсий увеличивается с ростом их обводненности, что вполне соответствует литературным данным. В реальных условиях применения ВКЭ это означает, что процесс приготовления эмульсии можно организовать как по непрерывной схеме – приготовление в аппарате РПА-Т с емкостью с постоянной циркуляцией ее и дозагрузкой емкости исходными продуктами с последующей перекачкой непосредственно к форсункам, - так и в виде процесса с периодической циркуляцией эмульсии по контуру РПА-Т-промежуточная емкость» и дозагрузкой емкости керосином, ПАВ и водой из дозирующих устройств с последующей перекачкой в расходную емкость, откуда ее можно подавать к форсункам.

По результатам эксперимента по получению ВТЭ можно отметить следующее:

Подтверждена принципиальная возможность получения водотопливных эмульсий. При содержании воды до 20% включительно полученная эмульсия обладает высокой устойчивостью и близкими к исходному топливу эксплуатационными характеристиками.

Было показано, в ходе проведенных работ, что применение ВТЭ экономически, экологически и технологически оправдано. В результате целой серии многофакторных экспериментов были подобраны оптимальные условия для получения водо-керосиновых и водо-мазутных эмульсий с высокой устойчивостью, достаточной для их использования в качестве топлива энергетических установок. Общий вид установки РПА-Т представлен на рис. 2.

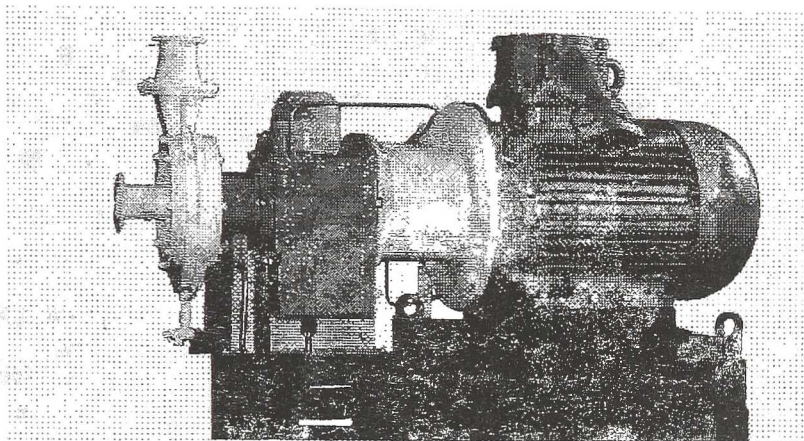


Рис. 2. Установка РПА-Т

Проведены испытания промышленной установки РПА-Т для получения водо-керосиновых эмульсий, изучены эксплуатационные характеристики полученных ВКЭ и сделаны следующие выводы:

- на аппарате РПА-Т получены устойчивые высокодисперсные (меньше 1 мкм) водо-керосиновые «обратные» эмульсии с содержанием воды до 20 % масс с применением специально подобранного ПАВ (или комбинации ПАВ); полученные эмульсии по основным эксплуатационным характеристикам соответствуют ГОСТ на авиакеросин марки ТС-1;
- получены устойчивые водо-мазутные эмульсии с содержанием воды до 30 % масс со средней дисперсностью 3...5 мкм;
- устойчивость полученных эмульсий превышает 24 часа;
- определена максимальная концентрация воды в водо-керосиновых эмульсиях (до 20% масс.) при соблюдении оптимальных рекомендуемых параметров эмульгирования;
- производительность аппарата РПА-Т по водо-керосиновой эмульсии может составлять до 2000 л/ч.

По данным ОАО «Уральский завод гражданской авиации» энергетическая установка ЭУ 1000/1000 номинальной мощностью 1000 кВт, имеет удельный расход ТС-1 0,12 кг/кВт ч и полный ресурс 60 000 часов. Расход ТС-1 в час определяется по формуле

$$G = g \cdot N, \text{ где } g = \frac{m}{N \cdot t} = \left(\frac{m}{t} \right) \cdot \frac{1}{N}$$

Отсюда, разделив расход $G=120$ кг/ч на плотность $ТС-1 = 0,78$, получаем 153,8 л/ч. Заменяв 20% топлива водой, получаем экономию 30,76 л/ч. При полном ресурсе 60 000 ч экономия составит 7 382 400 л.