

ЛИТЕРАТУРА

1. Горелик Г. Б. Физическая природа неустойчивости от цикла к циклу работы топливной аппаратуры дизелей и критерий стабильности режима // Актуальные проблемы создания, проектирования и эксплуатации современных двигателей внутреннего сгорания: Сборник научных трудов. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1999. С. 29-37.

2. Горелик Г. Б., Чистяков А.Ю. К вопросу исследования стабильности процессов топливоподачи при работе дизелей на частичных режимах // Актуальные проблемы создания и эксплуатации комбинированных двигателей внутреннего сгорания. Материалы международной научно-технической конференции «Двигатели 2002». Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002. С. 55-61.

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ И ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ РАБОТЕ НА ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Горелик Г.Б., Чистяков А.Ю.

Хабаровский государственный технический университет, г. Хабаровск

Водотопливные эмульсии (ВТЭ) получили признание как альтернативное топливо. Однако изучением свойств и применением водотопливных эмульсий в эксплуатации занимается сравнительно небольшой круг инженеров и ученых. В эксплуатации к сожалению эмульсия применяется весьма ограничено, что предопределяет актуальность работ в части использования ВТЭ.

Следует отметить большое разнообразие способов получения ВТЭ и подачи ее в двигатель. Целесообразна транзитная подача приготовленной в малогабаритном модуле эмульсии непосредственно в двигатель. Способы приготовления реализуют смешение компонентов при различных затратах внешней энергии. Наиболее приемлемы гидродинамический, лазерный и акустический способы, при которых возможно деструктивное воздействие на ВТЭ на уровне релаксационных изменений структуры. При использовании ВТЭ, имеющих иные физико-механические свойства, температурные и вязкостные характеристики и о которых имеется недостаточно полная информация, возникает целый круг частных вопросов и задач, решение которых должно предшествовать практической реализации ВТЭ в рядовой эксплуатации.

Однако до сих пор не изжит «водобоязнь» организаций, эксплуатирующих двигатели внутреннего сгорания, и практически внедрение ВТЭ так и не состоялось до настоящего времени. Главный довод противников использования ВТЭ – вода приводит к коррозии прецизионных элементов топливной аппаратуры (ТА) и деталей цилиндра-поршневой группы

(ЦПГ). То, что при этом улучшается топливная экономичность на 3...7%, снижается температура процесса сгорания, клапанов и поршня на 20...30°C, не принимается во внимание. Более того, водяные пары в химических процессах сгорания способствуют газификации частиц углерода и снижают нагарообразование или разрыхляют уже существующие отложения. Например, для малооборотных дизелей (МОД) 5ДКРН 50/160 и 5ДКРН 62/140, как показал эксперимент, нагарообразование уменьшается в 1,5...2 раза, а дымообразование снизилось в 2...5 раз. Период между моточистками увеличился в 1,5 раза.

ВТЭ целесообразно использовать хотя бы даже для моточистки ЦПГ и особенно топливной аппаратуры и ее распылителей. При этом отмечается снижение расхода масла на угар, уменьшение износа и прогорания выхлопных клапанов, а затраты на техническое обслуживание существенно сокращаются.

Сажеобразование происходит, как правило, у холодных стенок цилиндра и при использовании ВТЭ концентрация сажи снижается в 1,5...2 раза. Этот же эффект, но в большем масштабе, наблюдается на высокооборотных дизелях. Известно, что аморфная сажа адсорбирует на своей поверхности бензапирен и становится канцерогенной. Применение эмульсии не способствует образованию аморфной сажи, и, тем самым, снижает токсичность ОГ.

Оксиды азота NO_x формируются в зоне высоких температур при избытке O_2 , а ВТЭ снижает концентрацию кислорода и, главное, уменьшает температуру, нагарообразование и выброс окислов азота в атмосферу. Международная конвенция к настоящему времени резко повысила требования по содержанию окислов азота в выхлопе судовых дизелей. Здесь применение ВТЭ следует предпочесть использованию дорогостоящих нейтрализаторов или мерам по дефорсированию рабочего процесса, приводящим к потере положительных качеств высокого газотурбонаддува в современных дизелях.

Применение ВТЭ снижает температуру отработавших газов и самого дизеля. Поэтому возможна перегрузка двигателя в течение большего времени, чем по техническим условиям на поставку. При плавании в тропиках реализуется возможность работы на полной мощности. Это особо важно для рыбопромысловых судов, которым часто приходится работать на режимах перегрузки.

Особо следует остановиться на влиянии воды на процессы сгорания и механизм износа. Индикаторный процесс в цилиндре безусловно изменяется в лучшую сторону за счет каталитического воздействия воды на цепные реакции сгорания. Увеличивается количество активных центров, при высоких температурах молекулы воды диссоциируют на атомарный водород и кислород, способствуя реакциям окисления и сгорания. Подтверждается гипотеза о микровзрывах капель воды, охваченных оболочкой из мик-

рокапель топлива, что улучшает смесеобразование и индикаторный процесс по преобразованию энергии топлива. Положительно решается вопрос о добавке к топливу водорастворимых и не токсичных присадок, способствующих улучшению протекания рабочего процесса. Например, многие присадки плохо растворимы в топливе, но хорошо - в воде (можно повышать цетановое число топлива за счет добавки, например, 5% нитрата аммония или поливинилового спирта).

Данные по износу противоречивы. И все же больше имеется информации о том, что износы в целом по двигателю снижаются на 2...3%. Во-первых, из-за уменьшения нагарообразования, во вторых, в качественно приготовленной эмульсии при ее высокой дисперсности вода находится в связанном состоянии. При этом ВТЭ дает нейтральную реакцию на присутствие кислот и щелочей. Диаметры капель воды сопоставимы с зазорами в прецизионных элементах ТА. Пары воды, остающиеся и покидающие цилиндр, имеют температуру, значительно превосходящую точку росы. Следовательно, существенное водосодержание не должно усугубить коррозионные процессы в двигателе. Но при этом действительно необходимо производить пуск и останов двигателя на чистом топливе, чтобы исключить возможность появления воды при коалесценции эмульсии в зазорах элементов ТА и ЦПГ.

Таким образом, все вышеприведенные факты свидетельствуют о том, что применение ВТЭ существенно улучшает эксплуатационные характеристики двигателей, что ВТЭ является альтернативным топливом, так как положительно изменяет физическую природу процессов топливоподачи, смесеобразования и сгорания, вносит изменения в механизм износа, улучшает экологическое воздействие на окружающую среду. Безусловно, ее применение требует определенного изменения самой ТА и внедрения системы транзитного приготовления ВТЭ, что ведет к некоторому усложнению установки с двигателем.

Вода, поглотив значительную энергию на парообразование, в процессе такта выпуска отработавших газов выносит ее из актива эффективной работы цикла. Чем выше степень форсирования (наддув) двигателя, тем меньше доля уноса располагаемой энергии и тем выше эффективность применения ВТЭ.

Практика подтверждает, что применение ВТЭ дает существенный положительный эффект как по экономии топлива, так и по улучшению многих вышеприведенных показателей работы двигателя.

Отличия в протекании рабочих процессов топливоподачи, факелообразования и последующего смесеобразования при работе на ВТЭ связаны в первую очередь с параметрами эмульсии (плотностью, сжимаемостью, скоростью распространения волны давления в эмульсии, вязкостью).

Особенности распада струи в канале распылителя и при выходе ее в полость камеры сгорания непосредственно связаны с процессами сгорания топливовоздушной смеси в основных фазах горения.

Особенности процессов топливоподачи можно выявить путем гидродинамического моделирования работы ТА, для чего необходимо располагать информацией по физико-механическим свойствам ВТЭ. Следует провести исследование основных свойств эмульсии и выявить отклонения в протекании процессов топливоподачи при различном водосодержании в эмульсии. Главное здесь – сжимаемость и скорость распространения звука в ВТЭ.

Безусловно, можно утверждать, что активный ход плунжера увеличится примерно на величину $0,9 c_w$, где c_w - массовое водосодержание в эмульсии. В соответствие с критерием Сифмана N возрастает максимальное давление впрыскивания при незначительном увеличении продолжительности топливоподачи, что положительно отразится на качестве смесеобразования и сгорания для близноминальных режимов. На частичных режимах эффект усиливается, так как уменьшается цикловая нестабильность процессов топливоподачи (критерий устойчивости X стремится к значению $0 < X < 1$).

Имеет место увеличение давления впрыскивания на 12% при незначительном возрастании продолжительности впрыскивания. На режиме холостого хода существенно повышается межцикловая стабильность, что способствует улучшению качества параллельной и одиночной работы (повышается топливная экономичность, снижается нестабильность частоты вращения и колебания рейки насоса высокого давления и элементов регулятора).

Более сложной задачей является сопоставительный анализ процессов распада струи впрыскиваемого чистого топлива и эмульсии. Это необходимо для того, чтобы теоретически предсказать эффект от использования эмульсий в качестве альтернативного топлива. Только при понимании природы происходящих явлений возможно целенаправленное исследование, конечной целью которого является практическое внедрение ВТЭ в рядовую эксплуатацию ДВС.

Как известно, процессы распада струи дизельного топлива начинаются еще в канале сопла распылителя. Происходит зарождение кольцевого вихря, который, при выходе струи из сопла, способствует ее распаду. При скорости до 5 м/с возникает возмущение поверхности сплошного стержня топлива, выходящего из канала сопла (утолщения и сужения струи), далее, амплитуда поверхностных волн начинает увеличиваться вплоть до появления отрывов крупных капель, связанных со стержнем вытягивающимися нитями вследствие действия сил поверхностного натяжения. Эти возмущения струи зависят от конструкции, размеров и качества изготовления распылителя, способа обработки внутреннего канала сопла. Согласно извест-

ной теории «нитей», происходит разрыв нитей на мелкие капли, а крупные образования продолжают движение по траектории. При скоростях истечения от 5 до 10 м/с возрастает амплитуда поверхностных колебаний вплоть до разрыва капель в поперечном струе направлении. При скорости истечения порядка 15...20 м/с стержень теряет устойчивость вследствие усиления аэродинамического сопротивления его движению. Здесь вследствие потери устойчивости происходит разрушение сплошного стержня на обломки, соответствующие сначала полуволне, далее, четверть волне поперечных синусоидальных колебаний сплошного стержня с сокращением количества топлива, подаваемого в начальной и конечной фазах. Эти явления, подтвержденные экспериментами, определяют фазу грубого распыливания топлива. Дальнейшее резкое повышение скорости истечения топлива из сопла приводит к сокращению сплошного стержня по длине струи вплоть до его полного исчезновения. На этом фаза грубого распыливания завершается. Аналогичные явления имеют место и при завершении впрыскивания топлива. В целом, за эти фазы в камеру сгорания подается около 15...20% от всего впрыскиваемого топлива. Если топливо, поданное в начальной фазе, в какой то мере используется в процессе горения (есть свободный кислород), то завершающая фаза топливоподачи происходит в условиях недостатка кислорода при высокой конвективной и лучевой составляющих теплообмена в цилиндре. Практически идет крекинг топлива с образованием кокса на стенках камеры сгорания и днище поршня. При этом теряется (и более того, с отрицательным эффектом в виде образования твердого кокса, приводящего к износу ЦПГ) до 80% топлива, поданного за конечную фазу впрыскивания.

Таким образом, чистые (скрытые) потери при работе на дизельном топливе составляют величину порядка 10...15%. И с этим приходится мириться, тем более, что эффективность сжигания топлива в дизелях остается по-прежнему самой высокой для известных преобразователей энергии. Доводка процессов топливоподачи позволяет снизить приведенную цифру до 7...10% (особенно, когда речь идет о высокофорсированных дизелях, у которых начальная и конечная фазы сокращены до 5...7% от всей подачи). Но здесь при высоком наддуве начинают проявлять себя повторные впрыскивания топлива. Вот почему применение ВТЭ повышает экономичность дизеля особенно при относительно невысоких степенях его форсирования.

Эмульсия представляет собой двухфазную среду, т.е. коллоидную систему, состоящую из 2-х взаимно не растворимых жидкостей: дисперсная фаза (вода) в виде микрокапель, равномерно распределена в дисперсионной среде (в топливе). Сплошная струя ВТЭ при выходе из сопла ведет себя иначе, чем чистое топливо.

Процессы дробления протекают более активно, так как нарушенная микрокаплями воды структура стержня распадается при значительно

меньших скоростях истечения. Происходит качественное распыливание. Именно в этом проявляется положительный эффект ВТЭ в части повышения экономических и экологических показателей дизеля. При применении ВТЭ, полученной, например, гидродинамическим способом, вносятся и другие положительные воздействия на рабочий процесс. Следует предположить, что появятся различия в процессах смесеобразования и сгорания прямых и обратных эмульсий. Например, эмульсии типа вода-масло при вводе в среду камеры сгорания с температурой 600...800⁰С улучшают процессы физического распада струи топлива при выходе ее из канала распылителя за счет разрушения сплошной части стержня и, далее, за счет так называемых микровзрывов и создания большого количества активных центров горения.

Несколько иной механизм будет иметь место для прямых эмульсий типа масло-вода. Здесь эффект определится большей частью за счет расклинивающих сил, что должно привести к изменениям в формировании факела и его вписываемости в объем камеры сгорания. В любом варианте, в том числе комбинированном (характерном для гидродинамического способа приготовления ВТЭ), вносятся позитивные изменения в процессы смесеобразования и сгорания топлива.

Задержка воспламенения должна несколько увеличиться, но за счет выравнивания концентрации топлива по камере сгорания и активного перемешивания паро-жидкостной фазы процессы горения пойдут по обычной схеме при снижении температуры горения, которое реально достигает 20...40⁰ С.

Следует отметить новое свойство комбинированных эмульсий, получаемых гидродинамическим способом - это способность аккумулировать энергию при приготовлении ВТЭ и отдавать ее при впрыскивании. Это также повышает эффективность использования эмульсии. Вышеизложенное позволяет утверждать, что ВТЭ является альтернативным топливом.

Нельзя сбрасывать со счета, что только автотранспорт с ОГ выбрасывает в атмосферу до 150 млн. тонн NO_x (70% всех выбросов). ВТЭ позволяет успешно решать и эту задачу. Следует при этом рассмотреть вопрос о предотвращении замерзания воды, например, путем создания смесевых эмульсий на метаноле. Многие вопросы приготовления эмульсии, определения ее физико-механических и электрических свойств, требуют дальнейшей проработки.

Необходимо использование математического моделирования и экстраполяционного анализа для принятия оптимального решения по применению ВТЭ. При этом следует также решить практические задачи, связанные с изменением активного хода плунжера, автоматического изменения ограничения максимальной подачи при переходе с эмульсии на дизельное топливо и перенастройки соответственно системы автоматического регулирования частоты вращения. Это позволит обеспечить практическое ис-

пользования эмульсии в эксплуатации. Положительный эффект от применения ВТЭ не вызывает сомнений. Особо следует выделить вопрос применения комбинированных ВТЭ из смесей спиртовых топлив, растительного масла и угольных суспензий.

Отметим положительные стороны применения ВТЭ: эмульсия обеспечивает снижение NO_x до требований действующих стандартов; существенно повышает эффективность работы дизелей, особенно на частичных режимах и в первую очередь дизелей, бывших в эксплуатации; позволяет использовать обводненные топлива; позволяет эффективно применять спиртовые топлива, угольные суспензии и смеси метиловых эфиров с растительными топливами; за счет гомогенизации тяжелых топлив уменьшается остаток в виде шлама; снижается дымность ОГ, понижается температурное состояние ЦПГ и двигателя; обеспечивается «моточистка» ЦПГ и выпускного тракта; снижается коксуемость распылителей и увеличивается ресурс их работы; снижаются затраты на ремонты и обслуживание; расширяется диапазон стабильных подач ТА при форсировании дизелей; улучшается качество параллельной работы дизель-генераторов;

ВТЭ должны занять отдельное место в списке альтернативных топлив. Это путь улучшения качества и глубины использования традиционных топлив, более того ВТЭ позволяют вводить рациональным путем присадки в топливо, обеспечивать качественное выгорание углеводородных, азотоводородных, спиртовых и бензометанольных смесей и топлив. ВТЭ обеспечивают «моточистку» двигателя, обеспечивают снижение оксидов азота в ОГ до 2...2,5 раз, что позволяет отказаться от применения дорогостоящих нейтрализаторов (при затратах в сто тысяч долларов на 1 МВт мощности).

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПОРШНЕВЫХ ДВС

Шаров Г.И., Ерохин И.А., Осипенко Ю.В., Никитин С.П.

*Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет, г. Санкт-Петербург*

Серпентинито-магниево-железистый состав (СМЖ) – это многокомпонентная мелкодисперсная смесь минералов-ферросерпентинитов, хлоритов, каолинитов. Преимущественно для его изготовления применяются минералы группы слоистых силикатов – серпентиниты.

Среди обширного комплекса технологических свойств минералов менее всего изучены их триботехнические свойства. Этим обусловлена и достаточно малая их применимость в этом направлении. Единственными