

М.Х. Садеков, Ю.Б. Стасевич  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ СУДОВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ ПУТЕМ ПЕРЕВОДА ИХ НА ВОДОТОПЛИВНУЮ ЭМУЛЬСИЮ

В статье рассматриваются вопросы снижения вредных выбросов судовыми дизелями и котлами при переводе их работы на водотопливную эмульсию.

Дизель, вырабатывая механическую энергию за счет окисления топлива воздухом, в процессе работы осуществляет непрерывный тепломассообмен с окружающей атмосферой. Он забирает воздух и потребляет топливо, затем выбрасывает отработавшие газы, состоящие из части воздуха и продуктов окисления топлива. Таким образом, воздух, поступающий в цилиндр дизеля, совершает определённый термодинамический цикл, претерпевая при этом химические изменения, в результате чего превращается в ОГ – сложную газовую смесь со множеством компонентов. Четыре компонента –  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  и  $H_2O$  – составляют свыше 99–99,9% объёма газа, остальные 0,1–1,0% объёма ОГ – это примеси, которые являются вредными для окружающей среды.

При выпуске в атмосферу ОГ обычно рассеиваются и вступают в контакт с человеком уже в сильно разбавленном состоянии. Концентрация ряда вредных компонентов и температура газов в основном снижаются до безопасного уровня, но бывают зоны, где это вещество концентрируется в количествах, оказывающих вредное действие на живой организм и природу. Это обстоятельство заставляет искать пути снижения вредных веществ. К наиболее опасным веществам можно отнести  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , бенз(а)пирен, альдегиды (А), углеводороды (УВ).

Для нейтрализации отрицательных последствий от работы дизелей на окружающую среду большой интерес представляет применение ВТЭ, что позволяет существенно уменьшить содержание вредных веществ, ( $NO_x$ , сажи) в выпускных газах при сохранении или даже улучшении топливной экономичности. Накоплен определённый опыт эксплуатации различных по конструктивному исполнению установок на судах речного флота, таких как ВТЭ-1, ВТЭ-2, ВТЭ-3 (НГАВТ), УЗГС-5000 (СПБГУВК), ТОК-2 (ВГАВТ), УПЭ-1 с электролизером (ВГАВТ) и др.

Положительное влияние применения ВТЭ на токсичность и топливную экономичность подтверждается следующими результатами.

В экспериментах ВГАВТ на дизеле 6 VD 26/20 AL-1 [39] при работе на ВТЭ моторного топлива ДТ ГОСТ 1667-68 с содержанием воды 10–12 %, получено снижение дымности (по шкале БОШ) более чем в 2 раза, существенное снижение эмиссии  $NO_x$  и  $CO$  по сравнению с работой дизеля на чистом моторном топливе. При этом зафиксировано уменьшение  $b_e$  на 5–7 %.

Еще более впечатляющие результаты достигнуты на дизелях типа ЧН 18/20 и ЧН 16/17 [17,16]. При работе дизеля ЧН 16/17 на ВТЭ дизельного топлива ГОСТ 305-82 с содержанием воды 40–45% получено снижение эмиссии  $CO$  в 5–8 раз,  $NO_x$  в 3–5 раз, сажи – более чем в 10 раз. Удельный эффективный расход топлива при этом уменьшился на 15–18 г/(кВт·ч).

По результатам исследований, проведенных специалистами кафедры ЭСЭУ ВГАВТ на двигателях типа Г70-5 (6ЧРН36/45) эксплуатирующихся судов речного флота, можно отметить, что при  $\varphi_{оп} = 15$  у.п.к.в. при работе на дизельном топливе эмиссия  $NO_x$  линейно зависит от содержания  $C_w$  воды в топливе. Чем больше  $C_w$ , тем существенно снижается  $e_{NO_x}$ . Характер изменения максимальной температуры цикла  $T_{max}$  в зависимости от  $C_w$  примерно такой же, что и для  $NO_x$  при этом  $T_{max}$  при различных режимах уменьшается на 200 К в случае повышения  $C_w$  от 0 до 40%. Кривая

удельного эффективного расхода топлива имеет вид пологой параболы с минимумом расхода топлива при  $C_w = 10\%$ .

Карпов Л.Н., Волосатов О.С. [18] обобщили результаты исследований и испытаний судовых дизелей на ВТЭ с содержанием воды в 5–20%. Они подтверждают улучшение топливной экономичности на 2–4% при эксплуатации на номинальной нагрузке до 5% на долевых нагрузках.

Введение воды в топливо снижает дымность выпускных газов и содержание в них оксидов азота на 20–50%. Применение ВТЭ приводит к увеличению периода задержки воспламенения, скорости нарастания давления в цилиндре двигателя, продолжительности впрыскивания топлива некоторому смещению максимума давления газов в сторону кривой расширения.

Эффект снижения расхода топлива при сгорании ВТЭ объясняется тем, что полнота сгорания топлива увеличивается вследствие снижения выхода СО примерно на 10 % и сажи примерно на 11%; составляющая теплового баланса с выпускными газами уменьшается примерно на 70%; теплоотдача в поршень и крышку цилиндра снижается примерно на 3,5% , а в охлаждающую воду примерно на 5,5%. Анализ показывает, что при работе на ВТЭ имеет место повышение среднего индикаторного давления вследствие снижения потерь энергии на кривой сжатия и увеличения давления газов на кривой расширения.

В экологическом отношении использование ВТЭ в паровых котлах является эффективным методом сокращения уровня загрязнения атмосферы токсичными выбросами. Испытания [1, 4, 5] показывают, что при сжигании ВТЭ в продуктах сгорания уменьшается концентрация оксидов азота и углерода, а также сажи.

Оксиды азота  $NO_x$  при сжигании жидкого топлива образуются в результате окисления молекулярного азота воздуха  $NO_x^B$  и азотосодержащих соединений топлива  $NO_x^T$ . Суммарное количество окислов азота ( $NO_x^B + NO_x^T$ ) определяется температурным уровнем в топке, содержанием кислорода (избыточного воздуха) в зонах генерации  $NO_x^B$  и  $NO_x^T$  и временем пребывания этих продуктов в высокотемпературных зонах.

При сгорании ВТЭ снижение содержания  $NO_x$  происходит за счет вторичного дробления капель топлива и улучшения их смешения с воздухом, при этом интенсифицируется процесс горения и сокращается время контакта реагентов для образования окислов азота в начальных зонах факела отдельных горелок [2].

Продукты неполного сгорания топлива (оксиды СО и сажа) образуются, как и окислы азота, в начальной зоне факела и определяются видом топлива, условиями его распыливания, испарения и смешения с окислителем. Изменение концентрации СО с повышением влагосодержания имеет различный характер в зависимости от коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . При больших значениях  $\alpha$  в газах не обнаружено влияние влагосодержания ВТЭ на содержание окиси углерода, объемная концентрация которой не превышает 0,06–0,09 %. При  $\alpha < 1,25$  влияние на концентрацию СО в продуктах сгорания значительно. Увеличение влагосодержания ВТЭ до 20% приводит к снижению содержания оксидов углерода с 0,7 до 0,12% (т.е. в 5,8 раза).

Один из основных продуктов неполного сгорания топлива – сажистые частицы. При увеличении влагосодержания ВТЭ до 25% их содержание уменьшается на 70–80%. Влияние влагосодержания ВТЭ на концентрацию сажи сохраняется ( в отличие от содержания СО) на всех эксплуатационных режимах при изменении коэффициента избытка воздуха в диапазоне  $\alpha = 1,18 \dots 1,33$ .

Комплексным методом воздействия на образование вредных веществ в факеле является сжигание обводненного топлива в виде ВТЭ. В этом случае благодаря существенному улучшению процессов распыливания топлива (вторичного дробления капель) и смесеобразования значительно уменьшается образование продуктов неполного сгорания и улучшаются условия их последующего выгорания. Ускорение началь-

ных стадий процесса горения при минимальных избытках воздуха благоприятно скажется на уменьшении образования «топливных» окислов азота.

Одновременно с перечисленными положительными явлениями при сжигании ВТЭ уменьшается скорость отложений на газовой стороне поверхностей нагрева котла (вследствие уменьшения сажеобразования), что увеличивает срок эксплуатации котла между чистками.

#### Список литературы:

- [1] Иванов В.М. Топливные эмульсии. М.: АН СССР, 1970.
- [2] Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л.: Недра, 1988.

*И.С. Сухарев*  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА НАСЫЩЕНИЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ГАЗОМ

Земснаряд, сапропель, аэратор, вязко-пластичная жидкость, газожидкостное течение.

Использование эффективного устройства насыщения вязкопластичных жидкостей газом совместно с прерывателем потока воздуха в составе насосной установки позволяет создать особую структуру течения газо-жидкостной смеси, имеющую пониженные показатели вязкости и напряжения сдвига в трубопроводе, что позволяет снизить энергозатраты при добыче и транспортировке вязкопластичных жидкостей (сапропелей, лечебных грязей, высокопарафинистых сортов нефти, гудронов, жидкого бесподстилочного навоза, канализационных шлаков, красок, глинистых растворов и др.), а также увеличить дальность транспортирования и производительность установки в целом.

Добыча и транспортирование вязко-пластичных жидкостей связаны с повышенными удельными энергозатратами в связи с их высокой вязкостью. В природе эти жидкости представляют собой в основном высокопарафинистые нефти и сапропель. Залежи сапропеля в России составляют 30% (230 млрд. м<sup>3</sup>) всех мировых запасов, а 90% водоемов России требуют очистки от илистых донных отложений. В 2014 добыто 398 млн.т высокопарафинистой нефти, общие запасы в РФ которой оцениваются в 7 млрд.т. В настоящее время осуществляется строительство Мурманского и Заполярное-Пурпе нефтепроводов суммарной мощностью 100 млн. т в год и протяженностью 14 тыс. км. Проблема прокладки нефтепроводов в условиях вечной мерзлоты связана не только со высокими строительными издержками, но и значительным экологическим ущербом, связанное с таянием многолетней криолитозоны, которое возникает при транспортировке нагретой нефти.

Кроме того, существуют техногенные отложения в прудах-накопителях НПЗ, где ежегодно образуется 20 млн. т кислого гудрона в виде отходов. На данный момент только в Нижегородской области складированы 250 тыс.т гудронов в прудах-накопителях. Предлагаемое к разработке устройство позволит также снизить затраты на гидротранспорт и других вязко-пластичных жидкостей, к которым относятся: мазуты, строительные и буровые растворы, полимеры, пищевые продукты и т.п. Решение данной проблемы находится в соответствии в с ФЗ РФ от 23.11.2009 г. №261-ФЗ; Указ Президента РФ от 4.06.2008.