

## Экологические аспекты применения дизельного топлива в современных лесных машинах

*Environmental aspects of using diesel fuel for modern  
forest machines*

С. В. Беляев (S. Belyaev)<sup>1</sup>  
e-mail: [Sergbel@petsu.ru](mailto:Sergbel@petsu.ru)

*Петрозаводский государственный университет*

### АННОТАЦИЯ

Анализируются этапы развития дизельных двигателей, делается вывод о том, что дизели потенциально остаются приоритетными энергоустановками для мобильных машин в XXI веке и могут отвечать самым строгим экологическим требованиям при использовании топлив с улучшенными экологическими характеристиками.

**Ключевые слова:** дизель, дизельное топливо, содержание серы, цетановое число, эмиссия вредных веществ.

### SUMMARY

Stages of development of diesel engines are analyzed. The conclusion is that diesel engines retain potential priority for forest machinery in XXI century. They can meet the strictest environmental standards if fuel with enhanced environmental characteristics.

**Keywords:** diesel, diesel fuel, sulfur contents, cetane rating, harmful emissions.

### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Развитие двигателей лесных машин очевидно и дальше будет направлено на повышение их производительности, уменьшение затрат труда на их производство, техническое обслуживание и ремонт; повышение топливной экономичности и значительное улучшение экологических характеристик дизелей.

Современная лесная машина при заготовке каждой 1000 м<sup>3</sup> древесины расходует в среднем около 1000 литров топлива. Достижение более совершенных эколого-экономических характеристик перспективных лесных машин уже сегодня невозможно представить без дальнейшего повышения качества, оптимизации фракционного состава дизельного топлива и даже применения синтетических топлив.

Наряду с улучшением показателей качества топлива, производители дизельных двигателей большое вни-

мание уделяют и совершенствованию технико-экономических характеристик передовых дизелей.

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В 1909 г. инженерами была создана техническая база по реализации идеи Дизеля. Первый дизельный двигатель был выпущен компанией Benz&Cie в Mannheim в период 1919–1921 гг. В 1923 г. появился первый дизельный трактор, в 1936 г. – первое применение дизельного двигателя на пассажирском автомобиле. Компания Mercedes-Benz представила первый выпускаемый серийно дизельный пассажирский автомобиль. Это был четырехцилиндровый двигатель. Мощность составляла 45 л. с., частота вращения – 3200 об/мин. Расход топлива – 9 л на 100 км. Двигатель 260D был на 4 л экономичнее, чем бензиновый того же класса. В 1978 г. был установлен ряд мировых рекордов. На скоростной трассе в Италии опытный дизельный двигатель Mercedes-Benz C 111-I, установленный на автомобиле, позволил достичь средней скорости 315 км/ч в течение 12 ч испытаний. Рекордным был и расход топлива – около 16 л на 100 км. В 1983 г. инженерам удалось уменьшить уровень шума дизельного двигателя почти в два раза. В 1997 г. в результате объединения усилий компании Bosh и Dimler-Benz удалось создать насос с общим аккумулятором давления непосредственного впрыска (common rail) для дизельных двигателей.

Топливная система передовых дизелей CIDI поддерживает постоянным давление впрыска до 1350 бар. Это удалось сделать благодаря электронному регулированию и очень точной настройке сопел инжекторов. Достоинства этого насоса позволили качественно улучшить исполнение двигателя, уменьшить расход топлива и эмиссию вредных веществ в атмосферу. Прогрессивные научно-технические решения, достигнутые характеристики, высокая экономичность, качественное исполнение и низкая эмиссия вредных веществ позволяют дизелю оставаться перспективным для транспортных систем XXI века

### КАЧЕСТВО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Известные достоинства дизельных двигателей и их реализация в будущем в большей степени зависят от качества дизельных топлив. Расход топлива, надежность и экологические характеристики современных и перспективных дизельных двигателей определяются качеством топлива, которое мы заливаем в бак автомобиля.

Ответить на вопрос непросто – и причина достаточно ясна: множество различных свойств определяют качество дизельного топлива. Более того, каждое свойство оказывает влияние на разные аспекты работы дизеля. Особенно важны пять факторов: эксплуатационные характеристики, ресурс и надежность, уровень шума, качество выхлопных газов и расход топлива.

Следует отметить комплексное влияние на работу двигателя содержания серы в топливе. Было время,

<sup>1</sup> Автор – доцент кафедры промышленной тепло-техники

когда концентрация серы в топливе превышала 0,5%, что, безусловно, крайне негативно отражалось на сроке службы дизелей. Во время сгорания сера реагирует с кислородом и углеродом, образуя серные оксиды. И эти оксиды вызывают коррозию основных элементов как внутри двигателя, так и в выхлопной системе.

Кроме того, с большой скоростью образуются нагаролактоотложения и повышается износ. Однако в современных дизельных топливах редко можно встретить такую высокую концентрацию серы. Меньше чем в 5% всех стран в мире постоянно используют сернистые дизельные топлива. В европейских странах максимальный уровень серы – до 350 ppm, а некоторые из них имеют уровень серы 50 ppm и даже 10 ppm. Один ppm представляет концентрацию одной части серы на 1 миллион частей топлива. Топливо с содержанием серы 0,5% включает в себя 5000 ppm. Во многих странах двигателестроители приветствуют увеличение применения малосернистых топлив, хорошо понимая, что сера – яд для катализаторов. Катализаторы в современных двигателях также весьма чувствительны к сере, и очень важно для их надежной работы, чтобы концентрация серы не превышала 10 ppm. В некоторых странах Европы (Финляндия) уже достаточно давно от слов перешли к делу. Так, например, компания Neste производит экологически чистое дизельное топливо (City Diesel), содержание серы в котором не превышает 0,005%.

Агентство по охране окружающей среды США (EPA) рекомендует всем, кто производит дизельное топливо, переходить на выпуск малосернистых топлив. К 2006 г. 96% (около 3 миллионов баррелей в день) дизельного топлива будет отвечать установленному стандарту – 15 ppm (частей серы на миллион).

#### **СМАЗЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОПЛИВА**

В перспективных дизельных двигателях (CIDI) все большее значение приобретает смазывающая способность топлива. Это прежде всего связано с появлением новых насосов высокого давления распределительного типа. В современных двигателях типа (CIDI) давление впрыска топлива составляет 1350 бар (около 1350 технических атмосфер). И очевидно, что недостаточная смазывающая способность дизельного топлива может привести к разрушению насосов высокого давления.

Международный метод, принятый для косвенного измерения смазочной способности дизельного топлива и ее влияния на износ насоса, известен как метод HFRR. Согласно этому методу, чем меньше значение HFRR дизельного топлива (в  $\mu\text{m}$ ), тем выше его смазочная способность. Эксперты считают, что верхний предел величины HFRR должен быть около 400  $\mu\text{m}$ , чтобы обеспечить нормальный износ насоса. Топлива, имеющие большую величину HFRR, резко сокращают срок службы насоса, а если уровень HFRR превышает 520  $\mu\text{m}$ , может произойти катастрофический износ.

Выполненные недавно в США исследования качества дизельных топлив Союзом производителей автомобилей (ААМ) установили, что некоторые показатели качества дизельных топлив не соответствуют оптимальным значениям. Так, например, некоторые образцы топлив имели величину HFRR, равную 520  $\mu\text{m}$ . По результатам исследований были даны следующие рекомендации: если водители желают получить удовольствие от преимуществ современных технологий в области двигателестроения, в первую очередь следует повысить качество применяемого топлива.

Россия уже стоит на пороге внедрения передовых технологий, и в недалеком будущем проблема качества дизельных топлив встанет очень остро. Хотя уже кто-то и сегодня пожинает плоды применения дизельных топлив сомнительного качества.

#### **ВАЖНЕЙШИЕ СВОЙСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

**Цетановое число.**

Его определяют на специальных установках. Цетановый индекс рассчитывается по формулам или номограмме и определяется величиной плотности и фракционным составом данного топлива.

В Европейском Союзе, например, цетановое число составляет 51–55, а по данным исследований ААМ в США, большинство образцов имеют – 40.

В России стандарты и технические условия определяют нижний уровень цетанового числа, равный 45.

**Плотность / вязкость.**

Оба эти показателя оказывают влияние на эксплуатационные характеристики двигателя, конструктивные особенности, на качество отработанных газов и расход топлива. В зависимости от конструктивных особенностей двигателя (частота вращения, наддув, тепловая напряженность, давление впрыска топлива и т. д.) можно выйти на оптимальный режим его работы на топливе с определенной плотностью.

**Содержание серы.**

Высокий уровень серы (более чем 5000 ppm) уменьшает ресурс работы дизеля и приводит к ухудшению многих его характеристик.

Для нормальной работы катализаторов, уменьшающих концентрацию  $\text{NO}_x$ , содержание серы в топливе должно быть ограничено – 10 ppm.

**Ароматические углеводороды.**

К ним относятся молекулы с бензольными кольцами. В дизельных топливах вследствие высокой термической стабильности ароматических углеводородов их присутствие ограничивают с целью уменьшения сажистых частиц и вредных газов. Полициклические ароматические углеводороды особенно влияют на увеличение уровня эмиссии нежелательных частиц и газов.

Чистота сопловых отверстий форсунок.

Для достижения оптимального процесса сгорания в дизельных двигателях, особенно в двигателях с непосредственным впрыском (CIDI), сопловые отверстия должны быть всегда чистыми. В некоторых случаях применение специальных присадок позволяет уменьшить эту проблему.

Смазочная способность.

### ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

При сгорании дизельного топлива образуются нетоксичные (водяной пар, углекислый газ) и токсичные вещества. Последние являются продуктами неполного сгорания или побочных реакций, протекающих при высоких температурах. Кроме того, некоторые вредные вещества, содержащиеся в топливе, при работе двигателя выбрасываются в окружающую среду.

В таблице 1 приведены типичные виды токсичных веществ при сгорании дизельного топлива.

Меньшие значения характерны для новых двигателей, а большие для старых, изношенных.

Таблица 1

Эмиссия вредных веществ

CO	HC	DPM	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
v ppm	v ppm	г/м <sup>3</sup>	v/ppm	v/ppm
5–1500	20–400	0,1–0,25	50–2500	10–150

Оксид углерода (CO), углеводороды (HC) и альдегиды образуются в результате неполного сгорания топлива.

Оксиды азота (NO<sub>x</sub>) образуются в результате реакции азота и кислорода при высоких давлениях и температурах в цилиндрах двигателя.

Двуокись серы (SO<sub>2</sub>) образуется при сгорании серы, присутствующей в топливе.

Сажистые частицы (DPM – diesel particulate matter), по оценке специалистов EPA (США), представляют собой комплексные агрегатные частицы, включающие твердые и жидкие вещества.

DPM разделяют на три фракции:

- твердые частицы – сухие углеродные, известные как сажа;
- SOF – тяжелые углеводороды, адсорбирующие и конденсирующие на сажистых частицах, их называют растворимой органической фракцией (Soluble Organic Fraction);
- SO<sub>4</sub> – сульфатная фракция.

Реальная композиция, или состав DPM, будет зависеть от типа двигателя, нагрузки и скоростных характеристик.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) могут состоять из двух и более бензольных колец, многие из которых обладают канцерогенными свойствами.

Большинство вредных соединений из 4 и 5 колец также присутствует в органической фракции DPM (SOF).

С целью существенного улучшения экологических характеристик дизельных топлив в Европе предполагается в ближайшие годы повысить цетановое число до уровня не ниже 58, снизить массовую долю серы до 0,003 %. Содержание ароматических углеводородов может быть уменьшено до 10 %. Активно проводятся исследования по получению жидких топлив из газа по технологии Фишера-Тропша. Перспективными топливами для дизелей являются и ряд других, например, диметиловый эфир, биодизель, аквадизель.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fuels for Advanced CIDI Engines and Fuel Cell. Annual Progress Report. U. S. Department of Energy, Office Of Transportation Technologies, 2000.
2. Energy for the future. Diesel quality. DaimlerChrysler. Hightech report 2. / 2003.
3. New Generation Low-Emission Petroleum Products from Neste. Chemical Industry Technology. Neste Oy, Finland, 1998.