

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

УДК 62-664

**УМЕНЬШЕНИЕ РАСХОДА МОТОРНОГО ТОПЛИВА  
ПРИЕМАМИ МЕХАНОХИМИИ**

© 2019 г. Ю. В. Воробьев<sup>1</sup>, А. В. Дунаев<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ “Федеральный агроинженерный центр ВИМ” г. Москва, Россия

\* e-mail: [dunaev135@mail.ru](mailto:dunaev135@mail.ru)

Поступила в редакцию 13.06.2017 г.  
Принята к публикации 18.02.2019 г.

Представлены результаты и гипотезы причин уменьшения расхода топлива автотракторными двигателями внутреннего сгорания активацией топлива в комбинированном статическом смесителе-активаторе по патенту РФ № 2411074 для экономичной эксплуатации автотранспорта и производства различных видов моторного топлива.

*Ключевые слова:* активатор, углеводородные молекулы, механохимия, кавитация, диспергация, активные радикалы, теплотворная способность

DOI: 10.1134/S0235711919030143

Уменьшение расхода углеводородного топлива, обуславливающего заметную долю в себестоимости различных производств, всегда является актуальным. Одним из приемов этого может служить активация моторного топлива.

В статье предложена активация моторного топлива комбинированным статическим смесителем-активатором [1] (далее – активатор), обеспечивающая стабильность новых свойств и существенное уменьшение расхода топлива двигателями внутреннего сгорания (ДВС) без уменьшения их эффективной мощности.

Были проведены исследования, подтверждающие эффективность активатора:

1. Стендовые испытания с двигателем КамАЗ-740 (2011 г.) в военном авиационном инженерном университете (г. Воронеж).

2. Там же, с двигателем ЗМЗ-406.

Испытания показали уменьшение расхода дизельного топлива с разными активаторами на 26.5, 28.6%, а бензина на 21.3, 27.7 и 31.9% с заметным снижением в отработавших газах содержания углеводородов  $C_nH_x$ .

3. Двухмесячные исследования (2013 г.) в лаборатории № 7 ГНУ ВНИИТиН активированного бензина: Нормаль-80, Регуляр-92, Премиум-95, Супер-98 по ГОСТ Р 51106-97; бензина АИ-92 по ТУ 38.001165-97, АИ-98 по ТУ 38.401-58-127-95; бензина “Суперлюкс” и “Премиум” Британской нефтегазовой компании “Beyond petroleum” (ранее – “Бритиш петролеум”) по комплексу методик ускоренных испытаний нефтепродуктов на натуральных агрегатах, модельных одноцилиндровых установках и в двигателях внутреннего сгорания в сочетании с испытаниями по методикам контроля, указанным в технической документации на каждый нефтепродукт.

Таблица 1. Результаты испытаний усовершенствованного активатора

Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	Наличие активатора	Расход топлива, г, за 5 мин испытаний	Экономия, мл/%
1100	+	267	71/21.0
1100	+	253	85/25.2
1100	–	<b>338</b>	–
1100	+	267	71/21.0
1280...1300	+	244; 209.7 при 1100 мин <sup>-1</sup>	128.3/38.0
Среднее		249.18	88.83/26.3

4. Аналогичные испытания в ГНУ ВНИИТиН дизельного топлива сортов В и С вид II, а также дизельного топлива класса 1 вид I по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590 : 2009) Топливо дизельное Евро.

Исследования по п. 3 и 4 показали: уменьшение в топливе содержания углеводородов с числом атомов углерода более 10; синтез легких углеводородов (гексан, гептан, октан, 3 н-пентан); превышение 20% концентрации вновь образованных легких углеводородов; уменьшение в топливе содержания серы в 1.5–2, а фактических смол до 9 раз; уменьшение содержания в отработавших газах ДВС СО на 79%, NO и NO<sub>2</sub> до 14%.

5. В 2014 г. проведены испытания усовершенствованного активатора в лаборатории ВУНЦ ВВС ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж) с дизелем ЯМЗ-236 с тремя разными дизельными топливами при установке активатора в магистрали подачи топлива в ТНВД и в магистрали слива из него. На холостом ходу дизеля при частоте вращения коленчатого вала 900–1300 мин<sup>-1</sup> в одиннадцати испытаниях выявлено уменьшение расхода активированного топлива в среднем на 26.3% (табл. 1) [2].

6. Активатор испытан в Центре промышленных исследований США (Rochester Institute of Technology), где было показано уменьшение содержания серы в моторных топливах до 50%, смол в 7–9 раз, выбросов в ОГ: NO – до 17%, NO<sub>2</sub> – до 14%, а СО – до 79%. А увеличение объема дизельного топлива на 2.9% из-за соответствующего уменьшения его плотности явилось подтверждением активации топлива.

7. В 2009–2016 гг. проведены эксплуатационные испытания активатора на легковых и грузовых автомобилях в г. Тамбов. По этим испытаниям расход топлива, например, бензиновых двигателей сократился до 31.9%.

В определении причин уменьшения расхода в двигателях внутреннего сгорания активированного топлива одним из факторов является изменение фракционного состава этого топлива. В табл. 2 приведены результаты анализа хроматографом Кристаллюкс-4000М (детектор ПИД-ПДФ, Тамбовская ЛСЭ) дизельного топлива до и после активации.

Из табл. 2 видно, что состав активированного топлива резко изменился, образовалось подавляющее (30.6%) количество октана, отсутствовавшего в исходном топливе, уменьшилось содержание всех других углеводородов.

Хроматограммы активированного бензина показали повышение содержания октаоопределяющего толуола до 16%, а в авиакеросине – нонана и декана до 21%. Активатор апробирован также на рапсовом масле. В дизельном топливе выявлены и другие химмотологические изменения, и выпадение серы (табл. 3).

**Таблица 2.** Изменение фракционного состава дизельного топлива

№	Компоненты топлива	Концентрация компонентов, % об.	
		до активации	после активации
1	Гептан	—	<b>30.058</b>
2	Октан	0.5984	0.4229
3	Нонан	2.7570	1.8372
4	Декан	7.7882	5.1624
5	C11	9.4864	6.3675
6	C12	8.7895	5.8456
7	C13	9.6079	6.5720
8	C14	9.5585	6.6631
9	C15	8.0106	5.6108
10	C16	8.4595	6.0561
11	C17	6.6650	4.7709
12	C18	5.4932	3.6808
13	C19	4.6742	3.3814
14	C20	3.8240	3.0775
15	C21	3.0649	2.2626
16	C22	2.2591	1.7047
17	C23	1.3410	0.9688
18	C24	0.7894	0.5841
19	C25	0.3844	0.3032
20	Сумма	100.000	99.9135

**Таблица 3.** Изменение химмотологических показателей дизельного топлива по данным исследований в аккредитованной Испытательной Лаборатории ООО “Тамбов–Терминал” (аттестат аккредитации № РОССТР.0001.22НХ75)

№ пункта в табл. ГОСТ 305	Показатели	Норма по ГОСТ 305	НТД на метод контроля	Результаты испытаний топлива	
				исходн.	активир.
2	Фракционный состав топлива Л-0.05-62 — 50% перегоняется при температуре, °С, не выше — 95% перегоняется при температуре, °С, не выше	280	По ГОСТ ISO 3405, ГОСТ 2177 (метод А)	264	263
		360		341	351
4	Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	40	ГОСТ ISO 2719, ГОСТ 6356	64	78.5
5	Массовая доля серы, % не более	0.2	ГОСТ 19121	0.032	0.015
		0.05	По ГОСТ ISO 20846, ГОСТ 51947		
12	Концентрация фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup>	40	ГОСТ 5759	7.4	0.8
16	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	863.4	ГОСТ 3900	830.7	828.6

**Таблица 4.** Литературный пример повышения теплотворной способности преобразованных различными воздействиями углеводов

Исходная фракция, теплота сгорания, кДж/моль	Состав фракций по этапам преобразования		Фракции конечные	Теплота сгорания преобразованного топлива, кДж/моль	Положительный эффект
	1-я фаза	2-я фаза			
$C_8H_{18}$ $Q = 5470$ кДж/моль	2 $C_2H_2$	2 $C_2H_2$	2 $C_2H_2$	$Q = 8367$ кДж/моль	28%
	0.5 $C_2H_4$	0.5 $C_2H_3$	0.5 $C_2H_3$		
		0.5 Н	0.5 Н		
	3 $CH_4$	3 $CH_3$	3 $CH_3$		

Принимая диспергирование молекул активированных углеводов на части с их свободными не скомпенсированными валентностями, учтем, что диспергирование обуславливает повышение теплотворной способности топлива (табл. 4).

Каковы же другие причины повышения теплоты сгорания активированного топлива? Для сжигания топливо нужно подогреть, избавиться от негорючих примесей и диспергировать (испарить) до молекул. Далее, при достаточном прогреве должно пройти дробление углеродной цепи молекул на куски, отделение атомов водорода и разделение между собой атомов углерода. Параллельно должна идти диссоциация молекул кислорода. Лишь после этого происходит сгорание, т.е. соединение атомов топлива с атомами кислорода.

По цепному механизму термического разложения углеводов определено, что на начальных его стадиях рвутся связи с наименьшей, но все же высокой энергией разрыва 295–431 кДж/моль, а прочные связи требуют до 502.4 кДж/моль. При этом на разложение углеводов влияют катализаторы, например, медь, цинк. А попутная диссоциация молекул кислорода требует затрат, примерно 490–496 кДж/моль.

Механохимия, как особый класс физико-химических изменений веществ, из-за приложения к ним механических сил, была выявлена в 1887 г. [3]. Следствием этого являются необычные химические реакции, проявляющиеся в диспергированном топливе: в гептане – нарушение связей в его цепях, но не с затратой, а с выходом энергии порядка 419 кДж/моль [3], появление свободных валентностей углерода и свободных радикалов, например,  $R-CH_2^-$  с высокой реакционной способностью. Но ход механохимии может быть и различен, и обратим [3].

Механохимия деструктурирует фракции нефтяной смеси с образованием низкомолекулярных гомологов, с выделением водорода, углерода и осаждением серы. Деструкция насыщенных углеводов идет через разрыв их цепей, а непредельные углеводороды разрушаются с образованием насыщенных продуктов, возможно гидрирование их продуктами деструкции исходного вещества [4].

А.С. Ахматов в механохимии разрыва цепочечных молекул [3] показал, что при этом образуются и активные свободные радикалы  $R-CH_2^-$ . Не только запускаются неясные продолжительные химические реакции, дробятся тяжелые компоненты, увеличивается доля легких, разрушаются смолы и сернистые соединения, но и создаются новые вещества, известные по составу и свойству коротко- и долгоживущие активные простые, би- и полирадикалы, что радикализирует моторное топливо.

Особенностью механохимии с помощью активатора [1] является то, что реакции в углеводородах идут не только в самом активаторе, но и из-за влияния долгоживущих радикалов. Они продолжаются и после выхода углеводов из него [5, 6]. Испыта-

ния показали, что небольшая доля активированного топлива, введенная в не активированное, повышает долю активированного топлива [5, 6]. Например, в топливо вводили 20% активированного с содержанием в нем 23% легких фракций (т.е. 4.6% ) и через 15 мин в смеси образовалось 12% легких фракций; аналогично после ввода 30% активированного (т.е. 6.9% легких фракций) через 15 мин в смеси образовалось 39% легких фракций; но после ввода 40% активированного (т.е. 9.2% легких фракций) через 15 мин в смеси образовалось лишь 27% легких фракций; а после ввода 50% активированного топлива через 15 мин в смеси выявлено легких фракций еще меньше.

Стабилизация содержания активированного топлива в не активированном после введения в него 30% активированного, обусловлена тем, что взаимодействие активных радикалов со средой зависит не только от собственных свойств самих радикалов, но и от состояния возбужденного объекта их воздействия.

Образование активных свободных радикалов при механохимическом воздействии на топливо снижает температуру его воспламенения, повышает скорость и полноту сгорания. Это подтверждается работой ДВС с меньшими динамическими нагрузками, возможностью их работы с увеличенным углом опережения зажигания/впрыскивания, т.к. новые компоненты топлива воспламеняются уже при меньшей температуре и рассредоточены во времени.

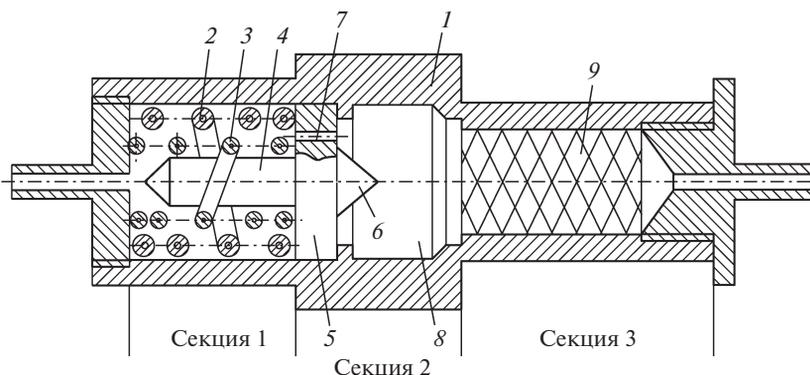
Таким образом, диспергирование молекул углеводородов и образование активных радикалов уменьшает затраты тепла сгорания на расщепление молекул топлива на атомы. И чем длиннее углеводородная цепь, тем ошутимее может быть влияние диспергирования и образования легких фракций топлива. А диспергирование активатором подтверждено множеством пар сравнительных хроматограмм по дизельному топливу, бензину, авиакеросину, моторному маслу М-10Г<sub>2К</sub>, рапсовому маслу.

В целом, если диссоциацию молекул топлива и кислорода производить в активаторе до сжигания, то теплота сгорания не будет затрачиваться на подготовку топлива, а его теплотворная способность будет больше, чем определяемая в калориметрической бомбе. Это и может быть причиной повышения активаторами теплоты сгорания диспергированных цепочечных углеводородов, что подтверждается повышенной теплотворностью нефтяных газов (диспергированных углеводородов) и водорода, где необходимость дробления длинноцепочечных молекул отсутствует.

Однако следует учитывать и то, что стандартно теплоту сгорания определяют в калориметрической бомбе, где отсутствуют механические, гидравлические, электромагнитные воздействия на топливо и ослаблено влияние окружающей среды. А активаторы, осуществляя различные воздействия на топливо, могут обуславливать также и влияние на него окружающей среды.

Известно, что некоторые технологии позволяют получать энергию из окружающего пространства. Например, на основе трубки Ранке–Хильша [8, с. 597] только в РФ выпускается более 30 аппаратов, в которых тепловая энергия в 1.1–10 раз превышает энергию на привод водяного насоса отопителей [8, глава 8]. Известны также многочисленные данные о выделении избыточного количества тепловой энергии при различных способах электрической и электромагнитной обработки воды. При некоторых режимах обычного и плазменного электролиза воды, при создании в ней кавитации и электродинамического воздействия на молекулы и ионы энергии выделяется больше, чем затрачивается [9, с. 34–35].

Учитывая все аспекты, можно предположить, что повышение теплотворности активированного моторного топлива [1] кроме дробления углеводородов, дополнительно обуславливается тем, что образующиеся возбужденные активные радикалы могут поглощать, стабильно принизывающие вселенную фотоны окружающего пространства от гамма- до радиодиапазона, гасить свои свободные связи и становиться более



**Рис. 1.** Схема комбинированного статического смесителя-активатора: 1 – корпус; 2 и 3 – винтовые элементы; 4 – цилиндрический стержень; 5 – диск; 6 – конус; 7 – каналы; 8 – промежуточная камера; 9 – смесительный элемент из перекрещивающихся решеток.

энергонасыщенными. Отсюда эффективность активатора может зависеть и от его корпуса, который должен быть прозрачен для фотонов, резонансно поглощаемых активными радикалами.

В дальнейшем энергия, взятая активными радикалами и частями от раздробленных углеводородов из окружающего пространства, может переходить в другие виды, а при сгорании активированного топлива может создавать в двигателе внутреннего сгорания дополнительное давление газов и обуславливать уменьшение потребления топлива. Так в водо-электролитических ячейках профессора Канарева Ф.М. энергии выделяется до 29000%.

Следует учитывать, что активные углеводородные радикалы могут способствовать разблокировке молекул кислорода воздуха в камере сгорания ДВС из естественного окружения четырьмя атомами азота, что также снижает затраты тепла на подготовку воздуха к окислению топлива.

Косвенно такие предположения подтверждаются профессором Ф.М. Канаревым [9]. Им определено, что “эффекты, связанные с повышением давления сгорания топлива в закрытых полостях формируются не газами, а фотонами. А объемы световых фотонов, излучаемых электронами в реакциях **предварительно диссоциированных молекул**, в 100000 раз больше объемов их источников – электронов, а попутно излучаемые невидимые инфракрасные фотоны в 10, 20, ..., 100 раз больше объема световых фотонов” [9]. Иначе: части углеводородных молекул и активные радикалы в диспергированном топливе поглощают фотоны окружающего пространства, насыщаются дополнительной энергией, а она проявляется при сгорании через повышение теплопроводности топлива, уменьшением его расхода без уменьшения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания, что и подтверждено испытаниями на двигателях КамАЗ-740, ЗМЗ-406, ЯМЗ-236.

**Устройство и действие активатора.** Активатор (рис. 1) [1, 5, 6] в цилиндре длиной 150 мм, диаметром 30–50 мм имеет три камеры, встраивается в любую топливную систему ДВС, не требует привода, не содержит химических веществ, не ухудшает рабочие показатели бензина, дизельного топлива, авиационного керосина, мазута, не уменьшает ресурс ДВС.

Последовательное воздействие активатора на топливо производится в трех камерах [5, 6]. В первой происходит встречное винтообразное перемешивание, истирание микроструй сдвиговыми силами, разрушение кластеров жидкостей до молекул; во

второй — кавитационное дробление молекул на фрагменты с оборванными связями с образованием у них свободных валентностей, свободных активных радикалов. Здесь химические процессы с участием растворенного кислорода идут в фазе сжатия кавитационных пузырьков [5–7] с образованием гидропероксидов, с их распадом в кавернах и образованием свободных радикалов, с дальнейшими их превращениями. Излучаемая энергия окисления углеводородов растворенным кислородом идет на дальнейшее деление молекул углеводородов на более короткие и на образование искусственных соединений [3, 5–7].

По механизму кавитации считается, что в зоне пониженного давления жидкостей образуются паровые каверны, а с повышением давления пар сжимается в жидкость и возникают локальное давление до 100 МПа, а температура доходит до 10000 К. При этом ионизируются и диссоциируются молекулы углеводородов и газов, образуются различные активные радикалы, ионы, ионно-радикальные образования, активно взаимодействующие между собой и с нейтральными молекулами [10]. Кислород в кавернах окисляет молекулы углеводородов, вместе с водородом участвуют в трансформации радикалов, происходит и фиксация азота.

Как минимум, после кавитации с разрывом Ван-дер-Ваальсовых связей несколько уменьшается вязкость моторного топлива, плотность — до 3%, температура вспышки — до 30%, разрушаются кластеры, полимеры, смолы, все компоненты диспергируются до 1–5 мкм [11]. На глубину модификации топлива влияет наличие полярных компонентов.

Главное состоит в том, что механохимические процессы высвобождают энергию диссоциаций связей С–Н (322–435 кДж/моль) и С–С (250–348 кДж/моль), которая без кавитации потребовалась бы для подготовки (диспергирования) топлива к сжиганию и тем самым уменьшила бы его теплотворную способность.

В третьей камере активатора происходит продавливание потока через перекрещенные микрощели, что продолжает механохимический разрыв молекул углеводородов. В итоге, последовательное воздействие на молекулы углеводородов в трех камерах и обуславливает длительную стабильность модифицированного состояния, фракционного состава и физико-химических свойств активированного топлива, т.е. необратимость его активации [5, 6].

Подтверждением необратимости механоактивации является преобразование неактивированного топлива в активированное путем введения в него доли активированного топлива, осаждение в активаторе серы, а также разрушение в топливе смолистых соединений.

**Заключение.** Достигнутая необратимость активации различных видов моторного топлива позволяет заметно повысить экономичность автотракторных двигателей внутреннего сгорания и может использоваться в производстве топлива соответствующего нормам ЕВРО-4 и ЕВРО-5. Причем разные нефтепродукты могут доводиться до близких показателей с удалением серы.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воробьев Ю.В., Тетерюков В.Б.* Комбинированный статический смеситель-активатор. Патент № 2411074. Бюл. № 4. 10.02.2011
2. *Воробьев Ю.В., Килимник А.Б., Дунаев А.В.* Снижение расхода топлива автотракторными ДВС приемами механохимии // *Автомобильная промышленность*. 2015. № 10. С. 21–22.
3. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963. 472 с.
4. *Днепровский К.С.* Механохимические превращения углеводородов нефти. Автореф. дис. к.х.н. 02.00.13. Томск: ИХН СО РАН, 2003. 24 с.

5. *Воробьев Ю.В., Кузьмин А.П.* Химическое действие гидроудара в активаторе моторного топлива // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2014. Т. 20. № 1. С. 95–100.
6. *Воробьев Ю.В.* Основы теории механоактивации жидких сред // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2013. Т. 19. № 3. С. 608–613.
7. *Грумандз В.Т.* Нанотехнологии обработки углеводородных жидкостей, основанные на использовании физико-химических явлений, происходящих на границах фаз и при фазовых переходах в условиях пузырьковой кавитации // В кн.: Фундаментальные проблемы теоретической и прикладной механики. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011. № 4 (5). С. 2120–2122.
8. *Рассадкин Ю.П.* Вода обыкновенная и необыкновенная. М.: “Галерея СТО”, 2008. 840 с.
9. *Канарев Ф.М.* Начала физхимии микромира // 8-е издание. Краснодар: ФГОУ ВО “Кубанский ГАУ”, Каф. теоретической и прикладной механики, 2007. 753 с.
10. *Промтов М.А., Авсеев А.С.* Импульсные технологии переработки нефти и нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2007. № 6. С. 22–24.
11. *Кардаков А.А.* Повышение надежности топливной аппаратуры дизелей кавитационной обработкой топлива / А. А. Кардаков // Журнал водных коммуникаций. Выпуск 2. С. 43–46.