

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ГИДРОУДАРА В АКТИВАТОРЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Ю. В. Воробьёв¹, А. П. Кузьмин²

*Кафедры: «Техническая механика и детали машин» (1);
«Химия и химические технологии» (2), ФГБОУ ВПО «ТГТУ»,
tmm-dm@mail.nnn.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: адиабата; активатор; гидропероксиды; гидроудар; кавитация; моторное топливо; окисление; свободные радикалы.

Аннотация: Представлен механоактиватор моторного топлива – статическое устройство, в котором техническое воздействие осуществляется при пропускании потока жидкого топлива через активатор. В устройстве нет движущихся частей, отсутствуют специальные источники электрических и магнитных полей, не используются химические реагенты. Применение активатора реализуется встраиванием его в систему подачи топлива автомобиля. В результате действия активатора изменяются состав и свойства углеводородного топлива, снижается содержание тяжелых фракций, появляются более легкие и разветвленные молекулы, снижается содержание серы и смол, уменьшается расход топлива. При смешивании пропущенного через активатор топлива с некоторым количеством необработанного в полученной смеси наблюдаются изменения состава, подобные вызываемым действием активатора. Ранее предложена модель механохимических процессов в кавитационной части активатора. Основные положения этой модели – инициирование химических процессов в фазе сжатия кавитационных пузырьков, образование гидропероксидов с участием растворенного кислорода, распад этих гидропероксидов в кавитационных пузырьках с образованием свободных радикалов и дальнейшие превращения радикалов с использованием энергии окисления углеводородов растворенным в топливе кислородом. Представлена модель, дополненная новым разделом, описывающим физико-химические процессы, вызываемые гидроударом в активаторе, приводящие, в свою очередь, к изменению ряда свойств моторного топлива. Выполнена оценка параметров гидроудара и сопровождающих его явлений.

Введение

Применение активатора жидкого углеводородного горючего является новым способом снижения расхода топлива и уменьшения количества вредных выбросов. Эта технология обеспечивает решение актуальных проблем энергосбережения и снижения загрязнения окружающей среды при работе двигателей внутреннего сгорания.

Физические параметры и процессы в зоне действия гидроудара

В статье [1] описаны эффекты, получаемые с помощью активатора моторного топлива [2]. Предложен и проанализирован физико-химический механизм действия активатора моторного топлива. В качестве основных факторов приняты кавитация и образование свободных радикалов, а также гидропероксидов. Активатор включает несколько отделений (рисунок).

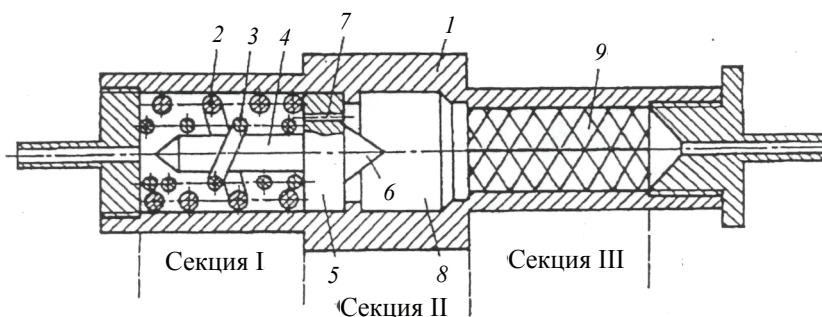


Схема активатора механического действия:

1 – корпус; 2, 3 – винтовые элементы; 4 – цилиндрический стержень; 5 – цилиндрическая вставка; 6 – конус; 7 – каналы; 8 – промежуточная камера; 9 – смесительный элемент

Одно из отделений (секция I) предназначено для воздействия на топливо гидроударом. Теория гидроудара разработана Н. Е. Жуковским [3].

Важнейший параметр гидроудара – максимальное повышение давления $\Delta P_{уд}$. Для его расчета применяется формула

$$\Delta P_{уд} = \rho w C_{уд}^2 \quad (1)$$

где w – скорость потока, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; $C_{уд}$ – скорость ударной волны, м/с.

Скорость ударной волны рассчитывается по уравнению, учитывающему свойства жидкости, материала трубы и ее геометрию

$$C_{уд} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{ж}d}{E\delta}}}, \quad (2)$$

где $E_{ж}$, E – модуль упругости жидкости и материала стенки соответственно, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; d – диаметр трубы, см; δ – толщина стенки, мм.

Модуль упругости алюминия $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па [4], модули упругости (обратные величинам коэффициента сжимаемости) бензина $1,305 \cdot 10^9$ Па, керосина – $1,35 \cdot 10^9$ Па; плотность бензина 780 кг/м³, керосина – 800 кг/м³ [5]. Толщина стенки – 3 мм, диаметр сечения активатора 30 мм. При мощности питающего насоса 80 Вт, с учетом потерь на сопротивление, примем скорость потока 5 м/с. Подстановка соответствующих величин в уравнения (1) и (2) создает скорость ударной волны в бензине $C_{уд} = 1190$ м/с, и такую же скорость в керосине. Ударное повышение давления $\Delta P_{уд} = 4,64$ МПа в бензине и $4,76$ МПа – в керосине. Таким образом, ударное повышение давления больше чем на порядок превосходит стационарную величину: $\Delta P_{уд} \gg P_0$. Гидроудар с такими параметрами называется сильным. При сильных гидроударах в фазе разрежения давление может понизиться до вакуума, реально минимальное давление ограничивается давлением насыщенных паров жидкости и давлением растворенных в ней газов. Давление насыщенного пара бензина при 38 °С равно $66,7$ кПа [6]. Поэтому в волне разрежения могут возникать пузырьки. При повторном прохождении ударной волны (в четвертой фазе гидроудара) адиабатическое сжатие газовоздушной смеси в кавитационном пузырьке вызовет ее нагрев. Величину достигаемой в фазе сжатия температуры можно рассчитать по известному уравнению Пуассона

$$T = T_0 \left(\frac{P_{уд}}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \quad (3)$$

где γ – показатель адиабаты. Для октана при 0°C $\gamma = 1,046$ [7], для воздуха $\gamma = 1,40$. Для паровоздушной смеси в пузырьке $\gamma = 1,20$. Тогда в фазе сжатия получим $T = 586\text{ K}$ или 313°C . Растворенный кислород в этих условиях вступает в реакции с углеводородами с заметной скоростью: при 120°C за час образуется до 10 масс. % гидропероксидов, которые являются первичными продуктами окисления [9]. При 313°C скорость будет выше, оценка по уравнению Аррениуса – 0,04 % в секунду. Фаза сжатия при гидроударе длится

$$\tau = \frac{2L}{C_{\text{уд}}}, \quad (4)$$

где L – длина трубы. Это время составляет в рассматриваемом случае 10^{-4} с. Следовательно, накопление гидропероксидов составит $4 \cdot 10^{-6}$ масс. %. Кроме образования гидропероксидов, будут протекать различные химические превращения, описанные в работе [1]. Но процессы в кавитационном пузырьке не ограничиваются воздействием внешних факторов. Внутреннее давление в процессе схлопывания может превосходить внешнее на несколько порядков, температура может превысить 1500°C [8]. Длительность схлопывания пузырьков очень мала, так как размер обычно порядка микрометров, а скорость движения стенок порядка скорости звука. Этот промежуток времени составит $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с.

Химические эффекты

Для описания процессов необходимо знание концентрации образовавшихся пузырьков. Оценку их количества в единице объема можно выполнить, исходя из величины поверхностного натяжения жидкости. Для бензина при 20°C поверхностное натяжение $\sigma = 22\text{ мДж/м}^2$ [10]. Долю энергии движения жидкости, потраченную на образование пузырьков, примем равной 10 %. Тогда, при скорости течения 5 м/с, имеем для образования пузырьков $E = 0,5\rho w^2 = 975\text{ Дж/м}^3$. Примем также, что все пузырьки одного размера – $r = 1\text{ мкм}$. Поверхность сферы такого радиуса $S = 1,26 \cdot 10^{-11}\text{ м}^2$. Энергия, необходимая для образования такой поверхности раздела, $\sigma S = 2,76 \cdot 10^{-13}\text{ Дж}$. Отсюда, концентрация пузырьков составит $3,53 \cdot 10^{15}\text{ м}^{-3}$, а их объем – $1,47 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3$. Приняв давление в пузырьке равным давлению насыщенного пара, а среднюю молярную массу бензина равной 0,114 кг/моль, получим оценку доли испаренного топлива

$$m = M \frac{PV}{RT}, \quad (5)$$

где P – давление, Па; V – объем, м^3 ; R – универсальная газовая постоянная; T – температура, К; M – молярная масса, кг/моль. Масса паров составит $m = 0,045\text{ кг/м}^3$. Масса гидропероксидов за один цикл: $1,8 \cdot 10^{-9}\text{ кг}$.

Важный вклад в образование пузырьков вносит испарение топлива. Учет теплоты испарения $r = 272\text{ кДж/кг}$ [6] приводит к снижению оценочного числа пузырьков до $2,82 \cdot 10^{14}$ и массы гидропероксидов до $1,44 \cdot 10^{-10}\text{ кг}$.

Образовавшиеся гидропероксиды распадаются. В работе [9] представлены зависимости константы скорости распада гидропероксидов от температуры. Учет этого фактора приводит к увеличению массы до $0,99 \cdot 10^{-10}\text{ кг/м}^3$. Этого достаточно для начала сложной цепи превращений, ведущей к изменению состава топлива и повышению его теплотворной способности.

Наряду с образованием гидропероксидов протекают процессы их распада, реакции окисления, а также крекинга и изомеризации углеводородов. Образование продуктов окисления пропорционально накоплению гидропероксидов [9]. Модель химических превращений топлива при обработке в механоактиваторе

предложена в статье [1]. Протекающие в активаторе процессы очень сложны, и для более точных оценок требуются дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования.

Список литературы

1. Воробьев, Ю. В. Химические процессы в органических жидкостях, инициируемые гидродинамическим активатором / Ю. В. Воробьев, А. П. Кузьмин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 913 – 919.
2. Пат. 2411074 Российская Федерация, МПК В 01 F 13/10. Комбинированный статический смеситель-активатор / Воробьев Ю. В., Тетерюков В. Б. ; патентообладатель Воробьев Ю. В., Тетерюков В. Б. – № 2009124923/05 ; заявл. 01.07.2009 ; опублик. 10.12.2011, Бюл. № 4. – 8 с.
3. Жуковский, Н. Е. Полное собрание сочинений. В 16 т. Т. 7 : Гидравлика = Hydraulics / Н. Е. Жуковский ; под ред. А. П. Котельникова ; Центр. аэрогидродинамический ин-т им. Н. Е. Жуковского, Комис. по изд. тр. Н. Е. Жуковского. – М.-Л. : ОНТИ НКТП СССР, Гл. ред. авиац. лит., 1937. – 410 с.
4. Бобылев, А. В. Механические и технологические свойства металлов. Справочник / А. В. Бобылев. – М. : Metallurgia, 1987. – 208 с.
5. Вильнер, Я. М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер, Я. Т. Ковалев, Б. Б. Некрасов ; под ред. Б. Б. Некрасова. – Минск : Вышэйша школа, 1976. – 416 с.
6. ГОСТ 2084–77. Бензины автомобильные. Технические условия. – Введ. 1979-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.
7. Казанцев, Е. И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования : учеб. пособие / Е. И. Казанцев. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Metallurgia, 1975. – 368 с.
8. Перник, А. Д. Проблемы кавитации / А. Д. Перник. – 2-е изд., испр. и доп. – Л. : Судостроение, 1966. – 435 с.
9. Тимофеев, В. С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза : учеб. пособие / В. С. Тимофеев, Л. А. Серафимов. – 2-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 2003. – 536 с.
10. Гуреев, А. А. Применение автомобильных бензинов / А. А. Гуреев. – М. : Химия, 1972. – 368 с.

Chemical Action of Water Hammer in the Activator of Motor Fuel

Yu. V. Vorobyov¹, A. P. Kuzmin²

*Departments: “Engineering Mechanics and Machine Parts” (1);
“Chemistry and Chemical Technology” (2), TSTU;
tmm-dm@mail.nnn.tstu.ru*

Key words and phrases: activator; adiabat; cavitation; free radicals; hydroperoxides; motor fuel; oxidation; water hammer.

Abstract: The paper describes a mechanical activator of motor fuel, a static device, with the technical impact of liquid fuel flow passing through the actuator. The device has no moving parts, no special sources of electric and magnetic fields or chemical reagents. Application of the activator is implemented by inserting it into the fuel supply system of the vehicle. As a result of the activator impact, the composition and properties of hydrocarbon fuels change, the content of heavy fractions decreases, lighter and more branched molecules appear the content of sulfur and resins decreases,

leading to the decrease in the fuel consumption. When mixing the fuel passed through the activator with a certain amount of the untreated fuel the composition changes are observed in the obtained mixture, caused by the action of the activator. Previously we proposed a model of mechanical- chemical processes in the cavitation part of the activator. The main assumptions of this model include the initiation of chemical processes in the compression phase of cavitation bubbles the formation of hydroperoxides with dissolved oxygen, decomposition of these hydroperoxides in cavitation bubbles to form free radicals and subsequent reactions of radicals using the energy of oxidation of hydrocarbons dissolved in the fuel with oxygen. We present theoretical model of physical and chemical processes caused by water hammer in the activator, leading to changes in some properties of motor fuel. The parameters of water hammer and the accompanying phenomena are evaluated.

References

1. Vorob'ev Yu.V., Kuz'min A.P. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 4, pp. 913-919.
2. Vorob'ev Yu.V., Teteryukov V.B. *Kombinirovannyi staticheskiy smesitel'-aktivator* (Combined static mixer activator), Russian Federation, Pat. 2411074.
3. Zhukovskii N.E., Kotel'nikova A.P. (Ed.), Tsentral'nyi aerogidrodinamicheskii institut im. N. E. Zhukovskogo, Komissiya po izdaniyu Trudov N. E. Zhukovskogo, *Gidravlika* (Hydraulics), in *Polnoe sobranie sochinenii* (Complete set of works), vol. 7 of 16, Moscow-Leningrad: ONTI NKTP SSSR, Glavnaya redaktsiya aviatsionnoi literatury, 1937, 410 p.
4. Bobylev A.V. *Mekhanicheskie i tekhnologicheskie svoistva metallov. Spravochnik* (Mechanical and technological properties of metals. Directory), Moscow: Metallurgiya, 1987, 208 p.
5. Nekrasov B.B. (Ed.), Vil'ner Ya.M., Kovalev Ya.T. *Spravochnoe posobie po gidravlike, gidromashinam i gidroprivodam* (Handbook for hydraulic, hydraulics and hydraulic machines), Minsk: Vysheisha shkola, 1976, 416 p.
6. Interstate standard (1979), *GOST 2084-77: Benziny avtomobil'nye. Tekhnicheskie usloviya* (GOST 2084-77: Motor petrols. Specifications), Publisher standards, Moscow, Russian Federation, 2003, 8 p.
7. Kazantsev E.I. *Promyshlennyye pechi. Spravochnoe rukovodstvo dlya raschetov i proektirovaniya* (Industrial furnaces. Reference Manual for the analysis and design), Moscow: Metallurgiya, 1975, 368 p.
8. Pernik A.D. *Problemy kavitatsii* (Cavitation problems), Leningrad: Sudostroenie, 1966, 435 p.
9. Timofeev V.S., Serafimov L.A. *Printsipy tekhnologii osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza* (Principles of the technology of basic organic and petrochemical synthesis), Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 536 p.
10. Gureev A.A. *Primenenie avtomobil'nykh benzinov* (Application of motor gasoline), Moscow: Khimiya, 1972, 368 p.

Chemische Handlung des Hydroschlages im Aktivator des motorischen Brennstoffes

Zusammenfassung: Es ist den mechanischen Aktivator des motorischen Brennstoffes – die statische Einrichtung dargelegt, in der sich die technische Einwirkung bei dem Vorbeilassen des Stroms des flüssigen Brennstoffes durch den Aktivator verwirklicht. In der Einrichtung gibt es keine sich bewegende Teile, es fehlen die speziellen Quellen der elektrischen und magnetischen Felder, es werden die

chemischen Reagenzien nicht verwendet. Die Anwendung des Aktivators wird von seinem Einbau ins System der Abgabe des Brennstoffes des Autos realisiert. Infolge der Handlung des Aktivators ändern sich der Bestand und die Eigenschaften des kohlenhydrathaltigen Brennstoffes, es sinkt der Inhalt der schweren Fraktionen, erscheinen die leichten und verzweigten Moleküle, es sinkt der Inhalt des Schwefels und der Harze, es verringern sich die Kosten des Brennstoffes. Bei der Vermischung des durch den Aktivator versäumten Brennstoffes mit dem etwas nicht bearbeiteten Stoff in der bekommenen Mischung werden die Veränderungen des Bestandes, ähnliche der Handlung des Aktivators beobachtet. Es ist das Modell der mechanischen chemischen Prozesse in dem kavitationalen Teil des Aktivators früher angeboten. Die Hauptlagen dieses Modells – die Initiierung der chemischen Prozesse in der Phase der Kompression der Ravitationsblasen, die Bildung der Hydropyroxiden mit der Teilnahme des aufgelösten Sauerstoffs, den Zerfall dieser Pyroxiden in den Kavitationsblasen mit der Bildung der freien Radikalen und die weiteren Umwandlungen der Radikalen unter Ausnutzung der Energie der Oxydierung des Kohlenwasserstoffs vom in des Brennstoffes aufgelösten Sauerstoff. Es ist das Modell mit der neuen von Abteilung, die die physikalisch-chemischen Prozesse beschreibt, die mit dem Hydroschlag im Aktivator angerufen werden, die seinerseits zur Veränderung der Reihe der Eigenschaften des motorischen Brennstoffes bringen, dargelegt. Es ist die Einschätzung der Parameter des Hydroschlages und seiner Erscheinungen erfüllt.

Action chimique de l'hydrochoc dans un activateur du combustible de moteur

Résumé: Est présenté l'activateur mécanique du combustible de moteur, un dispositif statique où l'action technique est réalisée lors du passage du courant du combustible liquide à travers l'activateur. Le dispositif n'a pas de pièces mobiles, ni de sources spéciales des champs électriques et magnétiques, on n'utilise pas de réactifs chimiques. L'application de l'activateur est effectuée par l'alignement dans le système de l'avancement du combustible de l'automobile. Pendant l'action de l'activateur la composition et les propriétés du combustible changent, le contenu des fractions lourdes diminue ainsi que le contenu du soufre et des goudrons. Auparavant a été proposé le modèle des processus mécano-chimiques dans la partie de cavitation de l'activateur. La position essentielle de ce modèle c'est l'initiation des processus chimiques. Est proposé un modèle complété d'une nouvelle partie décrivant les processus physiques et chimiques provoqués par l'hydrochoc dans un activateur amenant à la modification d'une série des qualités du combustible de moteur. Est effectuée l'estimation des paramètres de l'hydrochoc et des phénomènes qui l'accompagnent.

Авторы: *Воробьев Юрий Валентинович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин»; *Кузьмин Александр Петрович* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Химия и химические технологии», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Родионов Юрий Викторович* – доктор технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».