



УДК 541.49 : 546.284'161-32 : 547.826.1

SOLUBILITY OF HYDROGEN IN MIXTURES OF LIQUID FUELS AT ATMOSPHERIC PRESSURE**РАСТВОРИМОСТЬ ВОДОРОДА В СМЕСЯХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ**

Leybovych L.I. / Лейбович Л.И.

с.т.с, с.г. / к.т.н., с.н.с

ORCID: 0000-0001-6591-1241

Yevstigneyev Y.V. / Евстегнеев Ю.В.

ORCID: 0000-0003-4196-1468

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,
Николаев, проспект Героев Украины, 9, 54025
The Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Nikolaev, Prospekt Geroev Ukrainy, 9, 54025*

Аннотация. В работе рассматривается растворимость водорода в смесях легких и тяжелых топливах судовых энергетических установок. Установлено, что в смесях легких топлив (плотность менее 0,847 кг/л) растворимость водорода больше на 20---25 % по сравнению с растворимостью водорода в чистых фракциях смесей. В смесях тяжелого и легкого топлива (плотность более 0,937 кг/л) водород плохо растворяется при температурах 20...25 °С и атмосферном давлении.

Ключевые слова: водород топливо, растворение.

Вступление.

Для дизелей главных энергетических установок судов в настоящее время широко используется тяжелые топлива [1] ввиду их более низкой стоимости по сравнению с дизельным топливом. Использование тяжелых сортов топлива требует специальной обработки его в судовых условиях для обеспечения качества горения его в цилиндрах двигателя. Как правило, в настоящее время для решения указанной задачи применяются подогрев топлива перед топливными насосами. Такая подготовка топлива является энергозатратным процессом. Альтернативными способами снижения вязкости тяжелого топлива являются: кавитационная обработка [1], насыщение топлива водородом [2-5] и другие физические воздействия [6]. Анализ способов использования водорода для повышения эффективности сгорания тяжелых топлив в судовых энергетических установках показывает, что целесообразно применять топливо с растворенным в нем водородом [7].

Постановка задачи исследований. В работах [2-4] представлено ряд обобщений по растворимости водорода в различных топливах. Особенностью этих обобщений [2-4] является использование в них фракционного состава углеводородов, входящих в состав топлива. В практике достаточно сложно определить точно фракционный состав. Например, авторы настоящей работы столкнулись с тем, что очень часто при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания используются смеси тяжелого и дизельного топлива. Анализ физически свойств (вязкость и температура вспышки) двух типов топлива (дизельного $\rho_d = 0,847$ кг/л и моторного $\rho_m = 0,937$ кг/л), взятых из топливных цистерн двух различных судов, показывает не соответствие их нормативным



документам, действующим на Украине (рис.1).

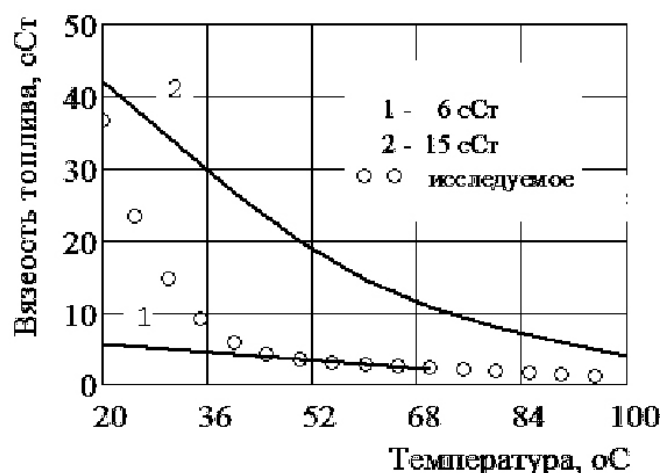


Рис. 1. Вязкость смеси тяжелого и легкого судовых топлив ($\rho_m = 0,937$ кг/л)

Данные рис.1 показывают, что судовладельцы вероятно используют смеси различных сортов топлива с целью уменьшения вязкости его для уменьшения затрат энергии на подготовку. В этом случае определить фракционный состав углеводородов, который находится в цистернах таких судов практически невозможно. Использование методик [2-4] для моделирования влияния растворенного водорода на физические свойства таких топлив не представляется возможным. Поэтому целесообразно оценку влияния растворенного водорода на физические свойства топлива выполнять по интегральным характеристикам, определенным экспериментальным путем [5].

Методика исследований. Исследования проводились на экспериментальном стенде (рис.2).



Рис. 2. Экспериментальный стенд по определению растворимости водорода в топливе.

Исследуемое топливо заливалось в емкость 1 таким образом, чтобы в ней не оставалось свободного воздушного объема. Общее количество заливаемого топлива – 790 ± 5 мл. В емкость встроены: нагреватель; датчик температуры для поддержания температуры топлива на требуемом уровне; поплавковый датчик, сигнализирующий завершение процесса растворения H_2 . Топливо в емкости



циркулировало посредством центробежного насоса 2. Водород дозировался в эту емкость дискретно по $10 \pm 0,1$ мл. Завершение процесса насыщения топлива H_2 определялось по времени растворения последней дозы в объеме $10 \pm 0,1$ мл.

Дискретность подачи небольших объемов водорода в емкость 1 позволяло визуально определить конец процесса растворения водорода по наличию остаточного газового объема в зоне подачи водорода и по положению датчика объема топлива, расположенного в верхней части емкости 1.

Важным показателем насыщения топлива водородом является время растворения дозируемого объема H_2 . Характерная динамика растворения водорода в легком топливе в зависимости от температуры процесса представлена на рис. 3.

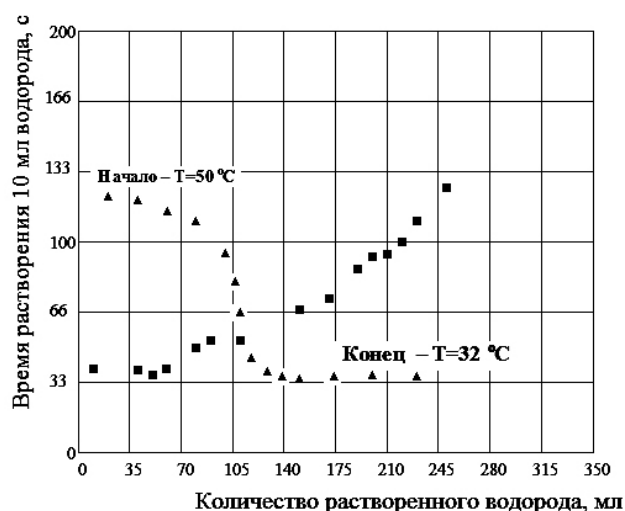


Рис.3. Динамика растворения водорода в смеси легких топлив (■ - температура процесса 28 ± 1 °C; ▲ – начальная температура процесса 50 °C, конечная - 32 °C).

Исследования растворимости водорода в смесях различных топлив показали:

- водород плохо растворяется в смеси тяжелого и легкого топлива при температурах менее 60 °C. Экстраполяция данных работы [5] по растворимости водорода в мазуте ($\rho_m = 0,93$ кг/л) дает приблизительно значение 0,1мл H_2 /мл топлива при атмосферном давлении. В наших экспериментах не была достигнута эта величина растворимости. Вероятно, на растворимость водорода существенно влияет наличие легких фракций:

- получена растворимость водорода в смеси легких сортов топлива при атмосферном давлении и температуре процесса 28 ± 1 °C в пределах 0,38...0,40 мл H_2 /л топлива, ($\rho_m = 0,847$ кг/л);

- при температуре процесса растворения 50 °C скорость растворения водорода в смеси легких сортов топлива приблизительно в 2 раза меньше, чем при температуре процесса 28 ± 1 °C;

- снижение температуры процесса с 50 °C до 32 °C за счет остывания ведет к увеличению скорости растворения водорода в 1,2 раза (рис.3). Вероятно, это связано с изменением структуры топлива при нагреве.



Выводы.

1. Легкие сорта топлива не требуют специальной подготовки перед процессом растворения водорода при атмосферном давлении. Предельное значение растворимости водорода для этих сортов топлива при атмосферном давлении в диапазоне температур 28...50 °С будет не превышать 0,38...0,40 мл Н₂/л топлива.
2. Для тяжелых сортов топлива требуется поиск методов интенсификации процесса растворения водорода при атмосферном давлении.

Литература:

1. Sagin S.V., Solodovnikov V.G., Cravitation Treatment High Viscosity Marine Fuels for Medium Speed Diesel Engines // Modern Applied Science and Education. Vol.9, №5-2015.–P.269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.
2. Huajun Yuan , Christopher Gosling, Peter Kokayeff, Sohail Murad. Prediction of Hydrogen Solubility in Heavy Hydrocarbons over a Range of Temperatures and Pressures using Molecular Dynamics Simulations// Fluid Phase Equilibria, 299(1) · December 2010. DOI:10.1016/j.fluid.2010.09.010.
3. Roger Torres, Jean-Charles De Hemptinne, I. Machin. Improving the Modeling of Hydrogen Solubility in Heavy Oil Cuts Using an Augmented Grayson Streed (AGS) Approach.. Oil Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, Institut Français du Pétrole, 2013, 68(2), pp.217-233. <10.2516/ogst/2012061>. <hal-00847406>.
4. Zhigang Lei, Yanyan Guo, Lu Zhao, Chengna Dai, Biaohua Chen, Fang Xiangchen. H₂ Solubility and Mass Transfer in Diesel: An Experimental and Modeling Study//Energy Fuels 2016, 30,-P, 6257–6263. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b00733.
5. Вишнеvский Н.Е., Глуханов Н.П., Ковалев Н.С. Машины и аппараты с герметичным электроприводом// Л. Машиностроение. 1977ю- 256 с..
6. Звонов, В.А., Макаров Н.А. Влияние на рабочий процесс ДВС активирования топлива внешними физическими факторами// Лвигатели внутреннего сгорания. №2, 2008. – С. 112 – 121.
7. Лейбович Л.І., Євстигнєєв Ю.В . Використання паливно - водневих сумішей у теплових двигунах// Суднова енергетика: стан та проблеми Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 332- 335.

References:

1. Sagin S.V., Solodovnikov V.G., Cravitation Treatment High Viscosity Marine Fuels for Medium Speed Diesel Engines // Modern Applied Science and Education. Vol.9, №5-2015.–P.269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.
2. Huajun Yuan , Christopher Gosling, Peter Kokayeff, Sohail Murad. Prediction of Hydrogen Solubility in Heavy Hydrocarbons over a Range of Temperatures and Pressures using Molecular Dynamics Simulations// Fluid Phase Equilibria, 299(1) · December 2010. DOI:10.1016/j.fluid.2010.09.010.
3. Roger Torres, Jean-Charles De Hemptinne, I. Machin. Improving the Modeling of Hydrogen Solubility in Heavy Oil Cuts Using an Augmented Grayson Streed (AGS) Approach..



Oil Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, Institut Français du Pétrole, 2013, 68(2), pp.217-233. <10.2516/ogst/2012061>. <hal-00847406>.

4. Zhigang Lei, Yanyan Guo, Lu Zhao, Chengna Dai, Biaohua Chen, Fang Xiangchen. H₂ Solubility and Mass Transfer in Diesel: An Experimental and Modeling Study//Energy Fuels 2016, 30,-P, 6257–6263. DOI: 10.1021/acs. energyfuels.6b00733.

5. Vishnevskiy N.Ye. Glukhanov N.P., Kovalev N.S. Mashiny i apparaty s germetichnym elektroprivodom// L. Mashinostroyeniye. 1977yu- 256 s..

6. Zvonov, V.A., Makarov N.A. Vliyaniye na rabochiy protsess DVS aktivirovaniya topliva vneshnimi fizicheskimi faktorami// Dvigateli vnutrenenngo sgoraniya. №2, 2008. – S. 112 – 121.

7. Leybovych L.I., Yevstyhnyeyev YU.V . Vykorystannya palyvno- vodnevyykh sumishey u teplovykh dvyhunakh// Sudnova enerhetyka: stan ta problemy Materialy VIII Midnarodnoy naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. – Mykolayiv: NUK, 2017. – S. 332- 335.

Abstract. *The work considers the solubility of hydrogen in mixtures of light and heavy fuels of ship power plants. It was found that in mixtures of light fuels (density less than 0.85 kg / l), the solubility of hydrogen is greater by $20 \pm 25\%$ compared to the solubility of hydrogen in pure fractions of the mixtures. In mixtures of heavy and light fuel (density more than 0.93 kg / l), hydrogen dissolves poorly at temperatures of 20 ... 25 ° C and atmospheric pressure.***Key words:** *testing, code modulator, generator of functions,*

Keywords: *hydrogen, fuel, dissolution .*

Научный руководитель: к.т.н. Лейбович Л.И.

Статья отправлена: 09.10.2018 г.