

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-569-574

DEVELOPMENT OF A HYDRODYNAMIC TYPE MIXER-HOMOGENIZER SCHEME

V. S. Kotov¹, A. A. Krivosheev¹, R. K. Reznikova²

¹ — Military Institute (Naval Polytechnic) of Kuznetsov Naval Academy,
Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation

² — Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg, Russian Federation

Based on the objectives of the “Strategy for the development of the shipbuilding industry of the Russian Federation for the period up to 2035”, an example of finding ways to improve reliability, operation of ships and vessels, through technical solutions for the introduction of individual elements of ship equipment is provided in the paper. An additional resource is the optimization of the ship’s power plant, namely, a way to improve the quality of fuel by means of hydrodynamic treatment in mixers-homogenizers of the jet-cavitation type based on the analysis of physical and chemical properties and quality indicators. An analysis of the design of a hydrodynamic homogenizer and its scheme, which allows combining the advantages of ejector and nozzle mixers is provided in the paper. On the example of using a homogenizer, the quantitative and qualitative characteristics of the optimized fuel combustion process are presented. The process of cavitation flow of a liquid is considered in detail, when the impact on the liquid at the molecular level in collapsing cavitation bubbles changes the density of the injected flow. The issues of including an additional source of energy or substance (water) in the standard system and the consequences of this process are also touched upon in the paper. The operation of the mixer, achieved by dividing the liquid flow into working and injected flows, is described in detail. A general view of the mixer-homogenizer of the injection circuit and the basic arrangement of the jet-cavitation mixer of the injection circuit are illustratively presented. The empirical formula for the selection of the console plate of the homogenizer vibrator is considered in the paper. By modernizing this element, it is possible to significantly affect the management of the quality of fuel combustion, energy saving and energy-ecological safety during the operation of the propulsion complex.

Keywords: reliability, power plants, boiler unit, operation, homogenizer.

For citation:

Kotov, Valentin S., Alexey A. Krivosheev, and Rimma K. Reznikova. “Development of a hydrodynamic type mixer-homogenizer scheme.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.4 (2021): 569–574. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-569-574.

УДК 621.182.3

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ СМЕСИТЕЛЯ-ГОМОГЕНИЗАТОРА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

В. С. Котов¹, А. А. Кривошеев¹, Р. К. Резникова²

¹ — Военный институт (Военно-морской политехнический)
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Пушкин,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

На основе задач, указанных в «Стратегии развития судостроительной промышленности Российской Федерации на период до 2035 года», в статье приводится пример поиска путей повышения надежности, эксплуатации кораблей и судов посредством исследования технических решений по внедрению отдельных элементов корабельного оборудования. В качестве дополнительного ресурса предлагается оптимизация энергетической установки корабля, а именно способ улучшения качества топлива посредством гидродинамической обработки в смесителях-гомогенизаторах струйно-кавитационного типа на основе анализа физико-химических свойств и показателей качества. Выполнен анализ конструкции гомотенизатора гидродинамического типа и его схема, позволяющие сочетать достоинства эжекторных и сопловых смесителей. На примере использования гомотенизатора представлены количественные и качественные характеристики

оптимизируемого процесса сжигания топлива. Детально рассмотрен процесс кавитационного течения жидкости, когда воздействие на жидкость на молекулярном уровне в схлопывающихся кавитационных пузырьках изменяет плотность инжектируемого потока. Также в статье рассмотрены вопросы включения в состав штатной системы дополнительного источника энергии или вещества (воды) и последствия данного процесса. Подробно описана работа смесителя, достигаемая разделением потока жидкости на рабочий и инжектируемый потоки. Иллюстративно представлен общий вид смесителя-гомогенизатора инжекторной схемы и принципиального устройства струйно-кавитационного смесителя инжекторной схемы. В работе акцентировано внимание на эмпирической формуле подбора пластины консоли вибратора гомотенизатора. Отмечается, что модернизируя данный элемент можно оказать существенное влияние на управление качеством сжигания топлива, энергосбережения и энергоэкологической безопасности в процессе эксплуатации пропульсивного комплекса.

Ключевые слова: надежность, энергетические установки, котлоагрегат, эксплуатация, гомотенизатор.

Для цитирования:

Котов В. С. Разработка схемы смесителя-гомотенизатора гидродинамического типа / В. С. Котов, А. А. Кривошеев, Р. К. Резникова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 569–574. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-569-574.

Введение (Introduction)

Согласно «Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года» одним из главных приоритетов научно-технологического роста отечественного военного кораблестроения является решение проблем развития энергетики и электроэнергетики. Данное направление предусматривает создание наукоемкого и конкурентоспособного судового оборудования, позволяющего повысить большинство технических показателей кораблей.

Оптимизация корабельной энергетической установки путем включения в ее систему гомотенизатора служит одним из способов решения управления качеством сжигания топлива, энергосбережения и энергоэкологической безопасности [1].

Таким образом, целью исследования является модернизация гомотенизатора гидродинамического типа топливной системы энергетической установки корабля для улучшения качества топлива в судовых условиях и повышения экономичности и экологичности судовых энергетических установок.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Анализ конструкций смесителей гидродинамического типа, применяемых в настоящее время для гомотенизации видов топлива, показал, что процесс кавитационного течения в них достигается следующим образом:

- а) в эжекторной схеме:
 - посредством смешения двух совместимых по растворимости топлив с различной плотностью или различной температурой;
 - добавкой некоторого количества пресной или забортной воды на всасывание эжектора [2];
- б) в сопловой схеме:
 - преобразованием энергии потока при высоких статических давлениях в кинетическую энергию струи, что приводит к модуляции длинной продольной волны, являющейся генератором высокочастотных колебаний мелкодисперсных включений: воды и механических примесей [3];
 - преобразование энергии потока в кинетическую энергию направленной струи и достижение возбуждения резонансной частоты колебаний на пластинчатом, стержневом или мембранном резонаторе [4], [5];
- в) в вихревой схеме:
 - преобразование энергии потока в кинетическую энергию тангенциально направленных струй, при слиянии которых возникают срезающие усилия между слоями топлива, приводящие к возникновению кавитационных полостей.

Выполненный в процессе исследования анализ показал, что во многих рассмотренных схемах возникает необходимость включения в состав штатной системы дополнительного источника энергии или вещества. При этом в случае добавки в исходное топливо воды происходит ухудшение качества топлива за счет снижения теплоты сгорания, что при нагрузках котла выше 60 % от номинальной существенно отражается на экономичности [2], [5].

Гидродинамический смеситель инжекторной схемы представляет собой струйный насос, в котором поток перекачиваемой по трубопроводу жидкости разделяется на *рабочий* и *инжектируемый* (рис. 1 и 2). Работа смесителя достигается разделением потока жидкости на рабочий и инжектируемый потоки с активным вихреобразованием в инжектируемом потоке, приводящем к диссипации кинетической энергии потока за счет работы вязких сил и сил межфазного взаимодействия между компонентами жидкости [6]. Выделяющаяся при диссипации кинетической энергии тепловая энергия создает неустойчивость межфазной границы компонентов жидкости и модулирование нелинейных гармонических возмущений [7], приводящих к появлению кавитационных пузырьков и дроблению дисперсной фазы.

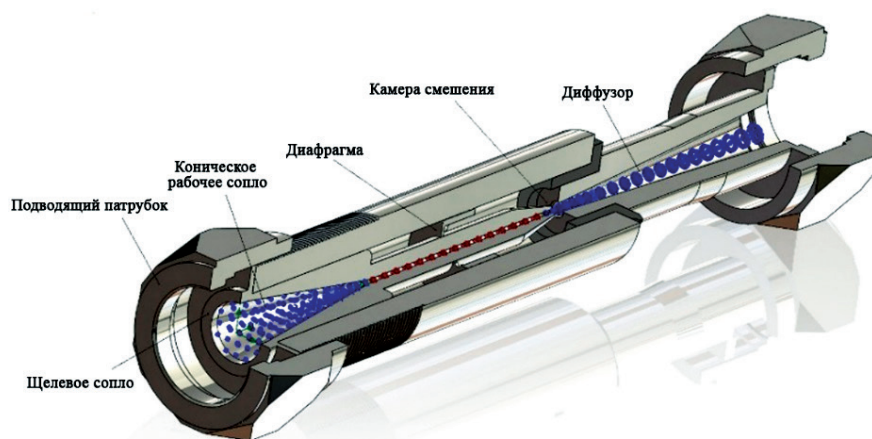


Рис. 1. Общий вид смесителя-гомогенизатора инжекторной схемы типа для обработки тяжелых видов топлива и топливных остатков

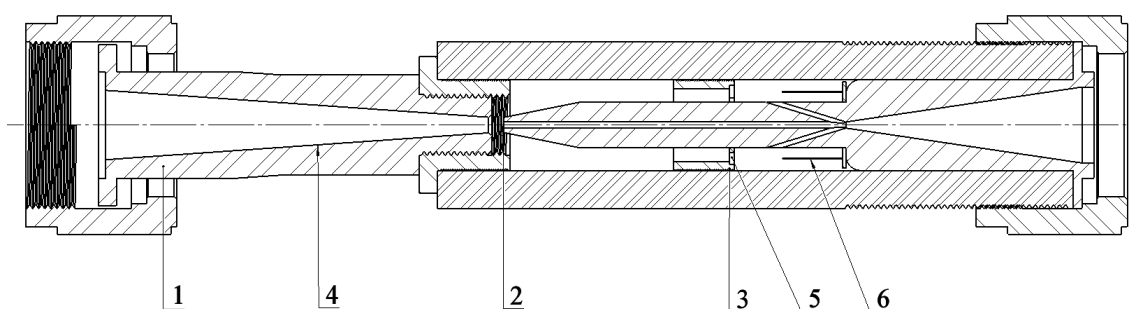


Рис. 2. Принципиальное устройство струйно-кавитационного смесителя инжекторной схемы с вибратором для обработки маловязких мазутов и мазутов средней вязкости:
1 — подводящий патрубкок; 2 — камера смешения; 3 — диафрагма;
4 — коническое рабочее сопло; 5 — щелевое сопло; 6 — вибрационные пластины

Воздействие на жидкость на молекулярном уровне в схлопывающихся кавитационных пузырьках изменяет плотность инжектируемого потока. Рабочий поток, проходя через коническое сопло и разгоняясь, увлекает за собой инжектируемый поток в камеру смешения, на входе которой достигается кавитационный режим работы смесителя, активизирующийся в камере смешения

за счет разности плотностей и различных давлений насыщения рабочего и инжектируемого потоков топлива [8].

Разделение жидкости на *рабочий* и *инжектируемый* потоки достигается в коническом рабочем сопле 4 нанесением перфорации на входе в сопло, обеспечивающей необходимую массовую долю никелируемого потока. Выбор соотношения массовых долей рабочего и инжектируемого потоков осуществляется на основании методики, предложенной в публикации [9].

Разность давлений между рабочим потоком и инжектируемым потоком достигается установкой па пути инжектируемого потока диафрагмы 3 с выполненными в ней осесимметрично расположенными щелевыми соплами 4, рассчитанными в соответствии с методикой, предложенной в работе [10].

Результаты (Results)

Инжектируемый поток, проходя через щелевые сопла диафрагмы, попадает в камеру всасывания струйного насоса, образованную полостью диафрагмы и фланцем камеры смешения. Гомогенизация топлива достигается при рабочих давлениях топливной системы выше 0,2 МПа. Особенность установки такого типа смесителей при давлениях ниже 0,2 МПа заключается в том, что они устанавливаются не на нагнетании топливного насоса, а на всасывании, с отбором в качестве рабочего потока топлива от нагнетания насоса.

Инжекторная схема смесителя позволяет сочетать достоинства эжекторных и сопловых смесителей. Схема смесителя инжекторной схемы с резонаторами приведена на рис. 2. Инжектируемый поток, проходя через щелевые сопла 5 диафрагмы 3, попадает во фланец камеры смешения 2 и установленные напротив щелевые сопла. Инжектируемый поток возбуждает пластинчатые консольные вибраторы, генерирующие ультразвуковую волну. Размеры щелевых сопел 5 и пластин консольных вибраторов выбраны на основании экспериментальных исследований [4], позволивших установить, что на поток смешиваемого вещества оказывают эффективное воздействие ультразвуковые волны в диапазоне 2,5–7,0 кГц, генерация которых достигается направленным течением смешиваемого вещества при давлении выше 0,2 МПа на плоскую заостренную консольную пластину. Оптимальный диапазон частот ультразвуковой волны достигается подбором пластины вибратора с использованием эмпирической формулы [6]:

$$N = 81,4 \, dl,$$

где N — частота колебаний вибратора, КГц; d — толщина пластины вибратора, см; l — длина пластины, см.

Возбуждение резонансной частоты колебаний вибраторов обусловлено образованием турбулентных вихрей при истечении направленной затопленной струи топлива из щелевого сопла [2] на расстоянии $\nabla x = 3,4b_0$ от кромки сопла, где b_0 — толщина струи. Кроме того, на поверхностях консольных пластинчатых вибраторов создается разность давления из-за неравномерности потока, набегающего на вибраторы инжектируемого потока [11].

Обсуждение (Discussion)

Рассмотренные схемы смесителей позволяют достигнуть развитого кавитационного течения в камерах смешения на всех режимах работы за счет того, что давление кавитации на входе в камеру смешения постоянно при одинаковой температуре рабочего и инжектируемого потоков для всех коэффициентов инжекции [8].

Смесители-гомогенизаторы инжекторной схемы могут быть установлены на всех системах, по которым осуществляются перекачка топлива: приемной, пополнения расходных топливных цистерн, топливных системах котлоагрегатов [12].

Заключение (Conclusion)

На основании выполненного исследования можно сделать вывод о том, что приоритетное направление развития военной морской техники в результате разработки новых отечественных

технологий в сфере судового машиностроения и приборостроения решает не только проблему импортозамещения, но и позволяет увеличить экономичность энергетической установки корабля и улучшить ее экологические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Питий И. И.* Теоретические основы и методы повышения эффективности использования котлотурбинных энергетических установок / И. И. Питий. — Л.: ВМА им. С. М. Кирова, 1990. — 73 с.
2. *Артемьев Г. А.* Системы судовых энергетических установок / Г. А. Артемьев [и др.] — Л.: Судостроение, 1990. — 376 с.
3. *Ведрученко В. Р.* Снижение экономического ущерба от вредных выбросов тепловых двигателей использованием альтернативных видов топлива / В. Р. Ведрученко, Н. В. Жданов, Е. С. Лазарев // Омский научный вестник. — 2013. — № 2 (120). — С. 236–240.
4. *Ведрученко В. Р.* Выбор смесительных устройств для получения высокостабильных топливных смесей в системах топливоподготовки энергетических установок / В. Р. Ведрученко [и др.] // Омский научный вестник. — 2013. — № 2 (120). — С. 241–245.
5. *Burak S. R.* Improving Heavy Fuel Oil Usage by Homogenization // Technical Report. — Ashland Specialty Chemical Company, 2010 [Электронный ресурс] / S. R. Burak. — Режим доступа: <https://cv-ao.com/products/homogenizer/improving-heavy-fuel-oil.pdf> (дата обращения: 31.05.2021).
6. *Митягин В. Г.* Проблемы эксплуатации судовых дизелей на различных видах топлива / В. Г. Митягин, В. Н. Окунев, В. В. Мартыанов // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 3. — С. 49а-53.
7. *Ведрученко В. Р.* О выборе схем и разработке технических решений систем топливоподдачи альтернативных и тяжелых топлив в дизелях. Ч. 2 / В. Р. Ведрученко [и др.] // Омский научный вестник. — 2010. — № 3 (93). — С. 138–143.
8. Пат. 2120562 Российская Федерация, МПК F02M 27/08 F02M 43/00 F03M 37/20. Способ обработки тяжелого топлива перед впрыском в камеру сгорания ДВС или котла / М. И. Браславский, В. А. Шляхов; заяв. и патентообладатель М. И. Браславский, В. А. Шляхов; № 96120125/06; Заявлено 08.10.1996; Опубл. 20.10.1998. — 2 с.
9. *Ишков А. М.* Влияние качества топлива на надежность дизельных двигателей в условиях Севера / А. М. Ишков, Е. Л. Иовлева // Наука и образование. — 2015. — № 1 (77). — С. 65–70.
10. *Кавтарадзе Р. З.* Частично-гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях. — Ч. 1: Способы гомогенизации сгорания / Р. З. Кавтарадзе [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. — 2018. — № 1 (61). — С. 37–52.
11. *Лифшиц Л. И.* Гидродинамический вибратор консольным креплением и его применение для получения эмульсий / Л. И. Лифшиц. — Л., 1961. — 22 с.
12. *Царев Р. А.* Оптоэлектронное устройство управления кавитационной обработкой углеводородных топлив / Р. А. Царев // Вестник Самарского государственного университета. — 2010. — № 1 (21). — С. 195–201.

REFERENCES

1. Pitii, I. I. *Teoreticheskie osnovy i metody povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya kotloturbinnikh energeticheskikh ustanovok*. L.: VMA, 1990.
2. Artemov, G. A., V. P. Voloshin, A. Ya. Shkvar, and V. P. Shostak. *Sistemy sudovykh energeticheskikh ustanovok*. L.: Sudostroenie, 1990.
3. Vedruchenko, V. R., N. V. Zhdanov, and E. S. Lazarev. "Economic impact of harmful emission of heat engines by usage of alternative fuel." *Omsk Sciencific Bulletin* 2(120) (2013): 236–240.
4. Vedruchenko, V. R., V. V. Krainov, N. V. Zhdanov, D. K. Kuznetsova. "Choice of mixing devices for high-stability fuel mixture in the fuel processing systems of power plants." 2(120) (2013): 241–245.
5. Burak, S. R. "Improving Heavy Fuel Oil Usage by Homogenization." *Technical Report*. Ashland Specialty Chemical Company, 2010. Web. 31 May 2021. <<https://cv-ao.com/products/homogenizer/improving-heavy-fuel-oil.pdf>>.
6. Mityagin, V. G., V. N. Okunev, and V. V. Mart'yanov. "Problems of ship diesel engines operation with different kinds of fuel." *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsii* 3 (2011): 49a-53.

7. Vedruchenko, V. R., V. V. Krainov, N. V. Zhdanov, M. V. Kulkov. "About schema selection and technical design for diesel fuel supply systems using alternative and heavy oil fuels. Part 2." *Omsk Scientific Bulletin* 3(93) (2010): 138–143.
8. Braslavskii, M. I., and V. A. Shlyakhov. RU 2 120 562 C1, IPC F02M 27/08 F02M 43/00 F03M 37/20. Sposob obrabotki tyazhelogo topliva pered vpryskom v kameru sgoraniya DVS ili kotla. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Oct. 1998.
9. Ishkov, A. M., and E. L. Iovleva. "Vliyanie kachestva topliva na nadezhnost' dizel'nykh dvigatelei v usloviyakh Severa." *Nauka i obrazovanie* 1(77) (2015): 65–70.
10. Kavtaradze, Revaz, Tamaz Natriashvili, Merab Glonti, and Elshan Bahramov. "Partially homogeneous combustion traditional and alternative fuel in diesel engines part 1. Ways of combustions homogenization." *Alternative Fuel Transport* 1(61) (2018): 37–52.
11. Lifshits, L. I. *Gidrodinamicheskii vibrator konsol'nym krepleniem i ego primenenie dlya polucheniya emul'sii*. L., 1961.
12. Tsaryov, Roman Alexandrovitch. "Optoelectronic device for the control of hydrocarbon fuel cavitation treatment." *Vestnik of the Samara State Aerospace University* 1(21) (2010): 195–201.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Котов Валентин Сергеевич —
кандидат технических наук
Военный институт
(военно-морской политехнический)
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
196604, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1
e-mail: legkieshagi@yandex.ru
Кривошеев Алексей Александрович —
матрос научной роты
Военный институт
(военно-морской политехнический)
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
196604, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1
e-mail: alexey-inc.98@mail.ru
Резникова Римма Константиновна —
кандидат педагогических наук
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
197045, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Ушаковская набережная, д. 17/1
e-mail: legkieshagi@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kotov, Valentin S. —
PhD
Military Institute
(Naval Polytechnic)
of Kuznetsov Naval Academy
1 Kadetsky Boulevard, Pushkin, St. Petersburg,
196604, Russian Federation
e-mail: legkieshagi@yandex.ru
Krivosheev, Alexey A. —
Sailor of the scientific company
Military Institute
(Naval Polytechnic)
of Kuznetsov Naval Academy
1 Kadetsky Boulevard, Pushkin, St. Petersburg,
196604, Russian Federation
e-mail: alexey-inc.98@mail.ru
Reznikova, Rimma K. —
PhD
Kuznetsov Naval Academy
17/1 Ushakovskaya embankment, St. Petersburg,
197045, Russian Federation
e-mail: legkieshagi@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20 мая 2021 г.
Received: May 20, 2021.