

ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

© 2010 Р. А. Царёв

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Рассматриваются вопросы повышения качества углеводородного топлива посредством обработки в кавитационных аппаратах. Дан обзор существующих кавитационных смесителей. Предлагается способ управления режимами работы различных кавитаторов с целью повышения дисперсности водотопливной эмульсии и увеличения содержания лёгких фракций в нефтепродуктах.

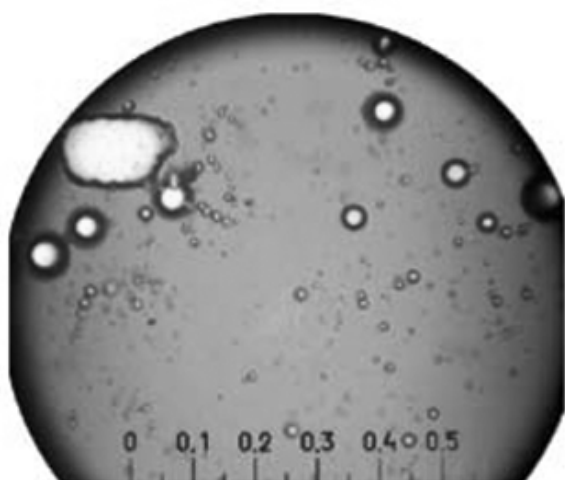
Кавитация, кавитационная обработка, интенсивность кавитационного процесса, углеводородное топливо, водотопливная эмульсия, дисперсность, гомогенизация топливных смесей, показатель качества, вязкость, измерение параметров нефтепродуктов.

Получение стабильных высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификация процессов растворения и экстрагирования ценных веществ, изменение физико-химических параметров жидкости, перемешивание многокомпонентных жидкостей являются актуальными задачами. Многие пищевые и фармацевтические продукты представляют собой эмульсии (молоко, майонез), суспензии (неосветлённые соки, фруктовые и овощные пасты и пюре), экстракты ценных веществ (пектин, мази и кремы с биологически активными веществами). Основным оборудованием для получения пищевых и биологически активных продуктов служат экстракторы, диспергаторы и гомогенизаторы различных типов и конструкций. Одними из перспективных аппаратов для этих целей признаны кавитаторы. К их достоинствам следует отнести множественность воздействий на обрабатываемую среду, компактность, малую энерго- и материалоемкость, простоту конструкции. В то же время управление воздействиями и технологическими параметрами процессов, протекающих в аппарате, достаточно сложно в связи с многофакторностью и взаимосвязанностью воздействий. Перспективным направлением использования кавитаторов является экстрагирование продуктов микробиологического синтеза, например, каротина из биомассы. Многие лекарственные вещества получают методами

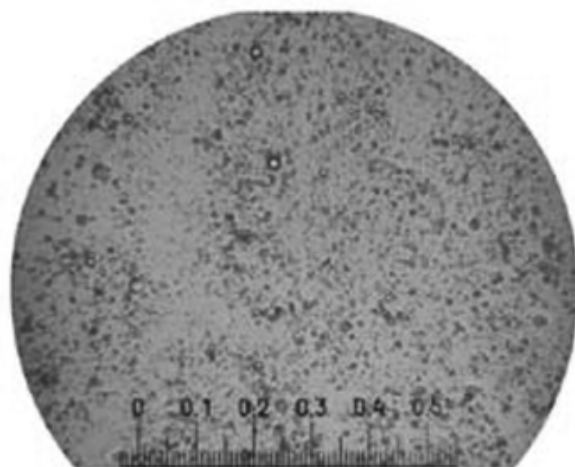
экстрагирования сырья растительного и животного происхождения. Кавитационная обработка применяется для завершения роспуска волокнистых материалов и для расщепления пучков волокон при переработке грубых волокнистых материалов. Цементно-водная суспензия, подвергнутая кавитационной обработке и добавленная в бетонную смесь, повышает прочность на сжатие и растяжение изделий из бетона.

При переработке нефти комбинирование процесса висбрекинга с кавитационной обработкой позволяет перерабатывать разнообразное по свойствам и составу сырьё и получать в зависимости от сезонных потребностей различные товарные продукты: бензиновые фракции, дистиллятные дизельные фракции, битум неокисленный дорожный, электродный пек для металлургической промышленности. Выход продуктов зависит от вида нефтяного сырья и требований к качеству продуктов. Как правило, из мазутов выход дистиллятных продуктов достигает 70-80%, в качестве остаточных продуктов получают битумы. Кавитационная обработка ускоряет диффузию нефти в полости парафина, интенсифицирует процесс его разрушения. Ускорение растворения парафина идет за счёт интенсификации перемешивания нефти на границе нефть-парафин и действия импульсов давления, которые разрывают частицы парафина. Под воздействием

кавитации большой интенсивности на протяжении длительного времени нарушаются С-С связи в молекулах парафина, вследствие чего происходят изменения физико-химического состава (уменьшение молекулярного веса, температуры кристаллизации, вязкости и др.). При сжигании водо-мазутных эмульсий получают существенный экономический эффект, повышение КПД на 3-5% и снижение эмиссии загрязняющих веществ (СО, сажи, окислов азота, бензапирена и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов) в атмосферу. Использование гомогенизированной водно-мазутной смеси позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, сэкономить мазут и уменьшить вредные выбросы NOx и SOx в атмосферу при их сжигании. Механизм этого эффекта объясняется следующим обстоятельством. Мазут, поступая в горелку, распыляется форсункой. Дисперсность (размер капель) мазута составляет порядка 0,1-1 мм. Если в такой капле топлива находятся включения более мелких капелек воды (с дисперсностью около 1 мкм), то при нагревании происходит их вскипание с образованием водяного пара. Водяной пар разрывает каплю мазута, увеличивая дисперсность подаваемого в горелку топлива. В результате увеличивается поверхность контакта топлива с воздухом, улучшается качество топливо-воздушной смеси.



а) водотопливная эмульсия, получаемая в механических смесителях, содержит включение воды размером до 100 мкм.



б) после обработки в кавитационном аппарате размер капель воды в нефти не превышает 20 мкм.

Рис. 1. Дисперсность водной фазы при приготовлении водотопливной эмульсии в механической мешалке (а) и кавитаторе (б)

Кавитацией называется образование разрывов сплошности жидкости и появление в жидкой среде парогазовых пузырьков различных размеров и концентрации в результате местного понижения давления. Если понижение давления происходит вследствие возникновения больших местных скоростей в потоке движущейся жидкости, то кавитация называется гидродинамической, а если вследствие прохождения в жидкости акустических волн, то акустической.

Устройства кавитационной обработки нефтепродуктов по принципу действия также подразделяются на гидродинамические и акустические. Во всех аппаратах целью кавитационного воздействия является гомогенизация топливных смесей, уменьшение вязкости нефтепродуктов, повышение выхода лёгких фракций при крекинге нефти за счёт разрушения С-С-связей в длинных молекулах углеводородов с образованием коротких соединений.

Гидродинамические кавитационные смесители подразделяются на непрерывные и импульсные [1], [2].

В кавитаторах непрерывного типа кавитационная камера находится в устойчивом состоянии после выхода на

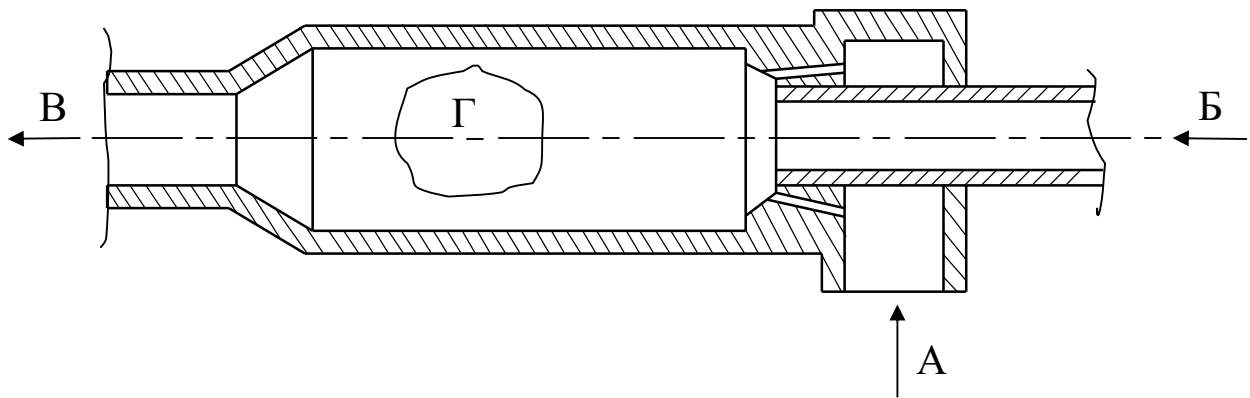


Рис. 2. Кавитационный смеситель непрерывного типа

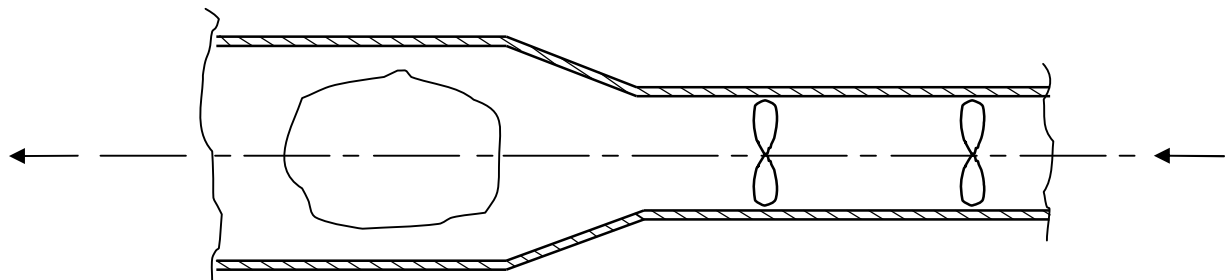


Рис. 3. Кавитационный смеситель непрерывного типа

суперкавитационный режим (рис. 2). По стрелке А в смеситель подаётся основной компонент. Возникающий при этом перепад давления в соплах создаёт кавитацию. Все струи направлены под острым углом в единый поток. Скорость потока рассчитывается так, чтобы существовал суперкавитирующий режим: зона Г – кавитационная каверна. Под эжектирующим действием струй по стрелке Б в каверну засасывается второй компонент. В результате образуется устойчивая смесь, удаляемая по стрелке В.

Кавитационный смеситель, приведённый на рисунке 3, представляет собой сужение, в котором установлены две крыльчатки. Первая закручивает поток в одну сторону, вторая – в противоположную. За счёт этого осуществляется макротурбулентное смешение. На него накладывается смешение на микроуровне, являющееся следствием образования за крыльчатками суперкаверны.

В импульсных кавитаторах каверна возникает и исчезает под действием переменного гидродинамического давления. Пульсации давления происходят за счёт модуляции потока жидкости. Принцип работы заключается в следующем (рис. 4).

Обрабатываемая жидкость подаётся под давлением или самотёком через входной патрубок в полость ротора 1, проходит через каналы ротора 2, каналы статора 3, рабочую камеру 4 и выходит из аппарата через выходной патрубок. При вращении ротора его каналы периодически совмещаются с каналами статора. Выходя из каналов статора, жидкость собирается в рабочей камере и выводится через выходной патрубок. В период времени, когда каналы ротора перекрыты стенкой статора, в полости ротора давление возрастает, а при совмещении канала ротора с каналом статора давление за короткий промежуток времени сбрасывается, и в результате этого в канал статора распространяется импульс давления. Скорость потока жидкости в канале статора является переменной величиной. При распространении в канале статора импульса избыточного давления вслед за ним возникает кратковременный импульс пониженного давления, так как совмещение каналов ротора и статора завершилось. Объём жидкости, вошедший в канал статора, стремится к выходу из канала, и инерционные силы создают растягивающие напряжения в жидкости, что вызывает кавитацию.

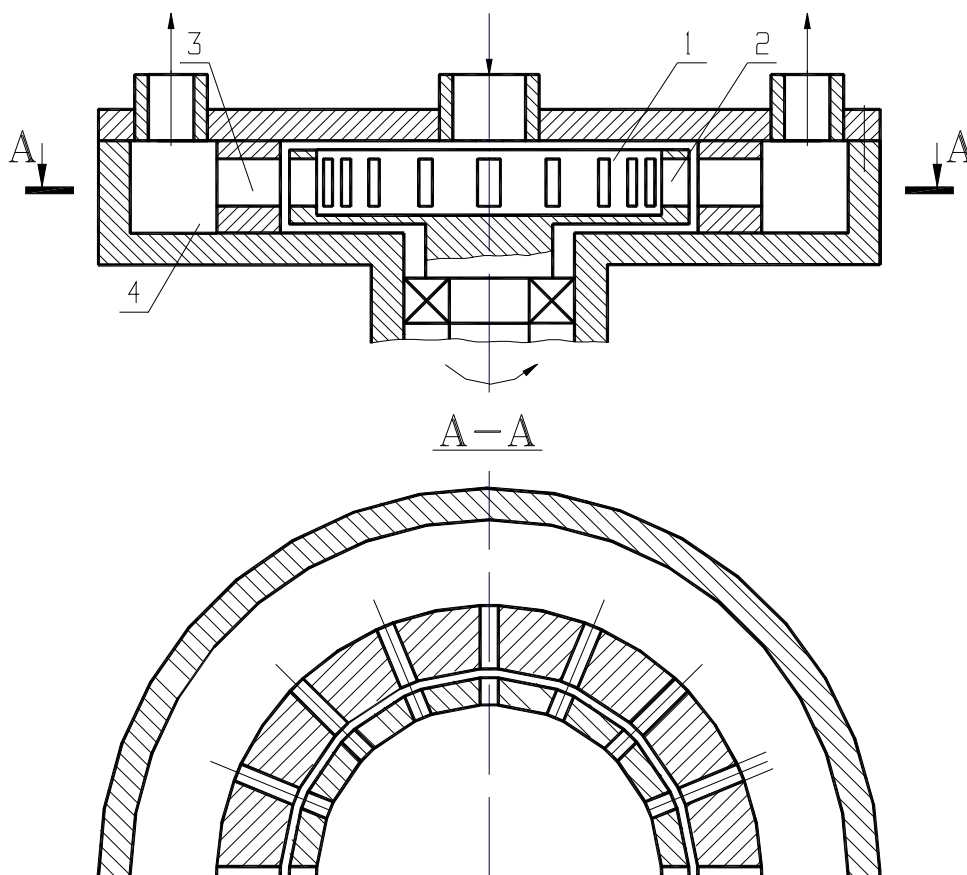


Рис. 4. Импульсный кавитационный смеситель

Наиболее целесообразным является использование ультразвуковых кавитационных установок. Они представляют собой участок трубопровода с фланцами, с наружной стороны которого установлены ультразвуковые излучатели. Такая установка не вносит дополнительного сопротивления в систему, надёжно функционирует при любой скорости течения жидкости и степени её агрессивности, проста в обслуживании и обладает возможностью тонкой электронной регулировки интенсивности кавитационной обработки [3], [4].

Во всех вышеописанных кавитационных установках отсутствует регулировка интенсивности кавитационного процесса с учётом физических свойств продукта. Обработке могут подвергаться различные жидкости: сырая нефть, дизельное топливо, котельное топливо и т.д. Все обладают различными плотностью, вязкостью, силой поверхностного натяжения, зольностью. Кроме того, нефть (а следовательно, и продукты её переработки) отличаются по свойствам и составу в

зависимости от месторождения. Кавитационный процесс в разных нефтепродуктах будет начинаться и протекать тоже при разных условиях. Кавитационная установка должна иметь обратную связь, регулирующую мощность насосов в гидродинамическом или мощность и частоту звуковых излучателей в ультразвуковом кавитаторах.

Общепринятые измерения звукового давления, интенсивности и мощности звука в кавитирующей области проводить невозможно как из-за эрозионного действия кавитации на приёмники звука, так и потому, что измеряемые величины не могут характеризовать кавитирующее поле. Принято оценивать характер кавитирующей области по значению кавитационных шумов, эрозионному действию и действию на скорость протекания химических реакций [4]. Использование подобных лабораторных методов для исследования в топливе неприемлемо, так как проба загрязняется, и велико время измерения.

Основными задачами при кавитационной обработке нефти и нефтепродуктов являются:

- а) повышение чувствительности приёмника звука и защита его от эрозии;
- б) избежание загрязнения жидкости;
- в) исключение влияния измерений на технологический процесс;
- г) сокращение времени измерения.

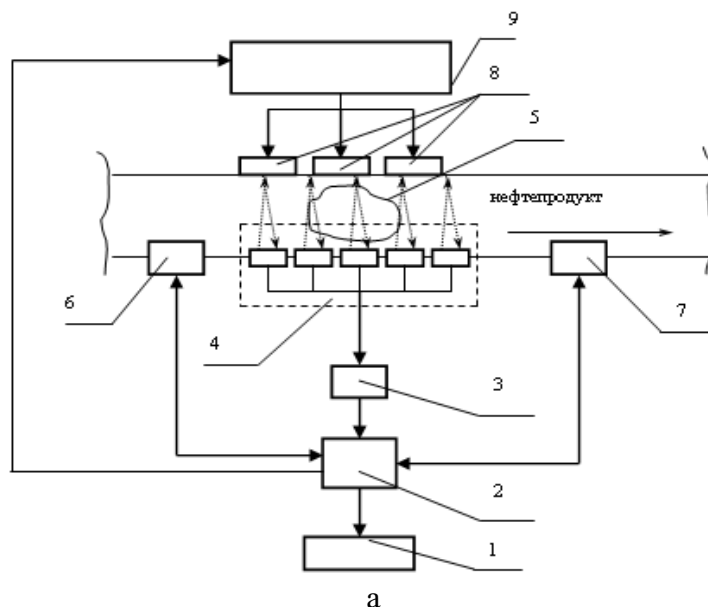
Решить эти задачи может предлагаемый прибор. Его сущность поясняется рисунком 5, где изображены две структурные схемы. Акустические излучатели 8 и управляемый генератор 9 (рис. 5,а) или гидродинамический кавитатор 8 (рис. 5,б) создают кавитационную камеру 5. Оптическая система 4, состоящая из матрицы оптопар, излучает световые пучки инфракрасного диапазона и принимает отражённые от противоположной стенки лучи. Возможна работа на прохождение луча. На рисунке 2 показан вид выходного сигнала оптической системы, по которому можно судить о форме и размерах кавитационной камеры. Через усилитель 3 выходной сигнал подаётся в устройство управления и обработки 2. По мере развития камеры меняются размер и концентрация парогазовых пузырьков, что влечёт за собой изменение рассеяния светового пучка и, следовательно, изменение токов фототранзисторов. Поточный анализатор 6 измеряет параметры входного продукта (компонент смешения), а поточный

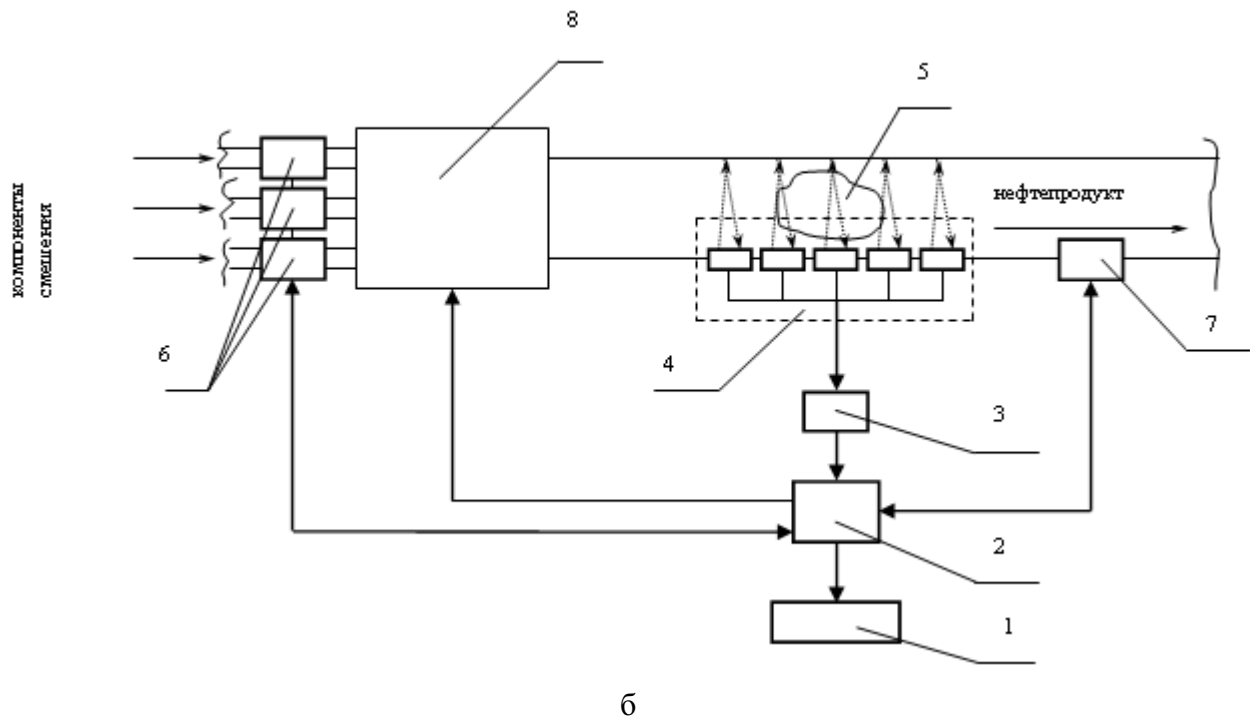
анализатор 7 измеряет параметры выходного продукта. Все результаты измерений отображаются на мониторе 1. По результату сравнения заданных параметров выходного продукта с измеренными и с учётом параметров на входе корректируется работа кавитаторов для поддержания необходимого режима обработки. Оптическая система 4, по сути, определяет степень развития кавитации, характеризующуюся средним индексом кавитации [5]:

$$\bar{K} = \frac{1}{V} \int_V \frac{\Delta V}{V} dV,$$

где ΔV – суммарный объём кавитационных пузырьков в фазе их наибольшего расширения, V – весь объём жидкости, участвующей в кавитационном процессе (находящейся в зоне пониженного давления). Важным достоинством системы является возможность адаптации к качеству входной смеси.

Таким образом, прибор контроля степени развития кавитации может использоваться как с гидродинамическими, так и с ультразвуковыми кавитаторами, позволяет вычислять показатели качества компонентов смешения и выходного продукта и по полученным результатам задавать необходимый режим кавитационной обработки.





б

1 – монитор, 2 – устройство управления и обработки, 3 – усилитель, 4 – оптическая система, 5 – кавитационная камера, 6,7 – поточные анализаторы, 8 – акустические излучатели (а) – гидродинамический кавитатор (б), 9 – управляемый генератор

Рис. 5. Ультразвуковая (а) и гидродинамическая (б) кавитационные установки

Библиографический список

References

1. Иванов, А. Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений [Текст] / А. Н. Иванов. – Л., 1980.
2. Левковский, Ю. Л. Структура кавитационных течений [Текст] / Ю. Л. Левковский. – Л.: Судостроение, 1978.
3. Физическая акустика У. Мэзона [Текст]. Т.1. Часть Б. – М.: «Мир», 1967.
4. Колесников, А. Е. Акустические измерения [Текст] / А. Е. Колесников. – Л.: Судостроение, 1983.
5. Основы физики и техники ультразвука [Текст] / Б. А. Агранат [и др.]. – М.: Высшая шк., 1987.

1. Ivanov, A. N. Hydrodynamics of developed cavity flows / A. N. Ivanov. – Leningrad, 1980.
2. Levkovsky, Yu. L. Structure of cavity flows / Yu. L. Levkovsky. – Leningrad: Sudostroyeniye, 1978.
3. Physical acoustics of W. Mezone. Vol.1. Part B. – Moscow: "Mir", 1967.
4. Kolesnikov, A. Ye. Acoustic measurements / A. Ye. Kolesnikov. – Leningrad: Sudostroyeniye, 1983.
5. Foundations of physics and ultrasonics / B. A. Agranat [et al]. – Moscow: Vysshaya shkola, 1987.

OPTOELECTRONIC DEVICE FOR THE CONTROL OF HYDROCARBON FUEL CAVITATION TREATMENT

© 2010 R. A. Tsaryov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper is devoted to improving the quality of hydrocarbon fuel by means of treatment in cavitation apparatuses. A survey of cavitation mixers available is given. A way of controlling operation modes of various cavitators is proposed so as to increase the dispersivity of water-fuel emulsion and the content of light fractions in petroleum products.

Cavitation, cavitation treatment, intensity of cavitation process, hydrocarbon fuel, water-fuel emulsion, dispersivity, homogenization of fuel mixtures, quality index, viscosity, measuring the parameters of petroleum products.

Информация об авторах

Царёв Роман Александрович, аспирант кафедры «Электротехника», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), ra-tsarev@yandex.ru. Область научных интересов: исследование физики кавитации, математическое моделирование кавитационных процессов, разработка, проектирование и изготовление устройств контроля качества жидких углеводородов, датчиковой аппаратуры.

Tsaryov Roman Alexandrovitch, post-graduate student of the department of “Electrical engineering”, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), ra-tsarev@yandex.ru. Area of research: research into physics of cavitation, mathematical modeling of cavitation processes, design, development and production of devices for fluid hydrocarbon quality control and sensors.