

УДК 62-932.2 : 62-932.4

Кравченко Олег Викторович, канд. техн. наук, старш. науч. співроб., заступник директора з наукової роботи
Тел. +380 57 349 55 14. E-mail: krav@ipmach.kharkov.ua

Авраменко Андрій Миколайович, канд. техн. наук, наук. співроб., відділ поршневих енергоустановок
Тел. +380 57 349 47 99. E-mail: an0100@yandex.ru

Глинько Олексій Ігорович, аспірант, відділ нетрадиційних енерготехнологій

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, м. Харків, Україна, вул. Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, Україна, 61046. Тел. +380 57 349 55 14. E-mail: bmn357@mail.ru

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕДПОЛУМ'ЯНОЇ АКТИВАЦІЇ ШТУЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ РІДКИХ ПАЛИВ

Проведено експериментальні дослідження та комп'ютерне моделювання процесу ультразвукового впливу на воду. Показано, що полями швидкостей течії рідин, інтенсивністю диспергування і характеристиками «ультразвукового» фонтану можна управляти частотою і потужністю пьезоперетворювача, а також конструкцією випромінювача. Показано, що даний процес може ефективно застосовуватися в пристроях підготовки та спалювання рідких палив в енергогенеруючих установках.

Ключові слова: рідкі палива, диспергування, ультразвук.

Кравченко Олег Викторович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., заместитель директора по научной работе
Тел. +380 57 349 55 14. E-mail: krav@ipmach.kharkov.ua

Авраменко Андрей Николаевич, канд. техн. наук, науч. сотр., отдел поршневых энергоустановок
Тел. +380 57 349 47 99. E-mail: an0100@yandex.ru

Глинько Алексей Игоревич, аспирант, отдел нетрадиционных энерготехнологий

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков, Украина, ул. Дм. Пожарського, 2/10, г. Харьков, Украина, Вул. Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, Україна, 61046. Тел. +380 57 349 55 14. E-mail: bmn357@mail.ru

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРЕДПЛАМЕННОЙ АКТИВАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Проведены экспериментальные исследования и компьютерное моделирование процесса ультразвукового воздействия на воду. Показано, что полями скоростей течения жидкостей, интенсивностью диспергирования и характеристиками «ультразвукового» фонтана можно управлять частотой и мощностью пьезопреобразователя, а также конструкцией излучателя. Показано, что данный процесс может эффективно применяться в устройствах подготовки и сжигания жидких топлив в энергонерирующих установках.

Ключевые слова: жидкие топлива, диспергирование, ультразвук.

Kravchenko Oleg Viktorovich, Ph.D., Senior Researcher, Deputy Director for Science of A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of National academy of sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. Str. Dm. Pozharsky, 2/10, Kharkov, Ukraine, 61046. Tel. 38-057-349-55-14. E-mail: krav@ipmach.kharkov.ua

Avramenko Andrey Nikolaevich, Ph.D., Senior Research Fellow, Department power piston plants of A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of National academy of sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. Str. Dm. Pozharsky, 2/10, Kharkov, Ukraine, 61046. Tel. 38-057-349-47-99. E-mail: an0100@yandex.ru

Glinko Aleksey Igorevich, Postgraduate, Department of unconventional energy technologies of A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of National academy of sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. Str. Dm. Pozharsky, 2/10, Kharkov, Ukraine, 61046. Tel. 38-057-349-55-14. E-mail: bmn357@mail.ru

SCIENTIFIC BASIS OF PRACTICAL APPLICATIONS OF ULTRASOUND IN TECHNOLOGY PREFLAME ACTIVATION OF ARTIFICIAL COMPOSITE LIQUID FUELS

Experimental studies and computer modeling of ultrasonic treatment on the water. It is shown that the flow velocity fields, intensity and dispersion characteristics of "ultrasonic" fountain can control the frequency and power of the piezoelectric transducer, as well as the design of the radiator. It is shown that this process can be effectively used in the preparation of devices and combustion of liquid fuels in power plants.

Keywords: liquid fuel, dispersing, ultrasound.

Введение

Значительное сокращение запасов и рост стоимости невозобновляемых источников энергии (уголь, нефть, природный газ) ставит актуальную задачу повышения эффективности их использования и частичную замену на жидкие композиционные топлива на основе низкорекреационных компонентов и различных отходов. В состав таких топлив могут входить

некондиционные углеводороды, сточные воды, застаревший мазут, низкорекреационный уголь, танкерные смывы и пр. [1–7]. Данный подход предоставляет возможность при минимальных затратах, одновременно решить экологическую проблему и получить дополнительную энергию. Применение установок, работающих на данных топливах, сдерживается низкими показателями эффективности их работы, особенно на низких расходах топлив (20÷200 кг/ч). Быстрое засорение каналов форсунок и низкое качество распыливания данных топлив приводит к неоднородности факела и неустойчивости горения, а следовательно, к высоким показателям механического и химического недожогов. Решение данных проблем видится в применении новых технологических подходов предпламенной активации и дополнительного диспергирования топлив.

Анализ литературных источников [8–13], показал, что в различных технологиях, в том числе в процессах диспергирования жидких веществ, эффективно применяется энергия механических колебаний ультразвуковой частоты. Ультразвук также широко применяется для интенсификации физико-химических процессов в технологиях нефтепереработки. Целью данных исследований являлось определение возможности и целесообразности применения ультразвука для предпламенной активации искусственных композиционных жидких топлив (ИКЖТ).

Экспериментальный стенд

С целью проведения экспериментальных исследований по определению эффективности воздействия ультразвука на жидкие среды, был собран экспериментальный стенд, схема которого представлена на рис. 1.

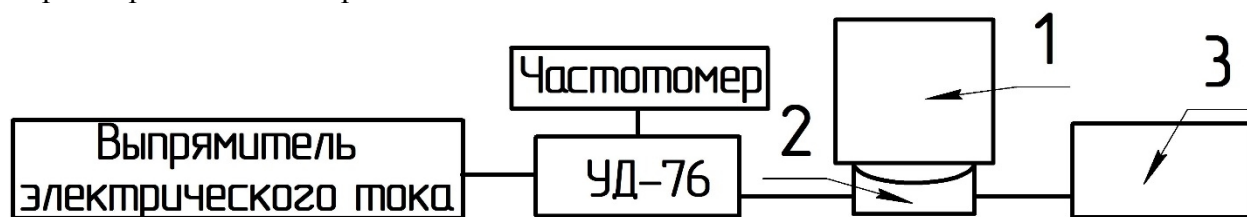


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

1 – реактор с обрабатываемой средой, 2 – пьезопреобразователь, 3 – осциллограф

Выпрямитель электрического тока дополнительно оснащен вольтметром и амперметром, что позволяет определить мощность установки. УД-76 генерирует и усиливает сигнал ультразвуковой частоты подаваемый на пьезопреобразователь 2. Частотомер измеряет частоту генератора в УД-76, при помощи осциллографа 3 контролируется частота колебаний пьезопреобразователя. Ультразвуковые колебания проходят через реактор с обрабатываемой средой 1, воздействуя на нее.

Основным элементом экспериментального стенда является установка УД-76, генерирующая колебания ультразвуковой частоты. Ее технические характеристики приведены в ниже.

Напряжение.....	12,6 В
Максимальная потребляемая мощность установки.....	30 Вт
Рабочая частота генератора.....	2,640 МГц
Размеры излучателя.....	Ø 60x32 мм
Элемент пьезокерамический ЦТС -19, размеры.....	Ø 30x1 мм

Применяется пьезоэлемент типа ЦТС – 19, характеристики которого даны ниже:

Температура точки Кюри, T_k	290 °С	
Относительная диэлектрическая проницаемость	$\epsilon_{33}^1/\epsilon^0 \dots$	1750
	$\epsilon_{11}^1/\epsilon^0 \dots$	1450
Скорость звука, V_1^E	$3 \cdot 10^3$ м/с	
Планарный коэффициент Пуассона, σ_p	0,37	
Моды растяжения-сжатия по толщине, относительное	1,0 %	

отклонение частоты, (ООЧ) _{сж}	
Рекомендуемая максимальная температура, T _{раб}	200 °С
Удельное объемное электрическое сопротивление ρ _v при 100°С, не менее.....	1·10 ⁸ , Ом·м
Плотность, ρ.....	7,5·10 ³ кг/м ³

Цирконат-титанат свинца (ЦТС) — твердый раствор титаната свинца и цирконата свинца с общей формулой $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$, сегнетоэлектрик [14].

При создании экспериментального стенда, повышенные требования предъявлялись к геометрии реактора с обрабатываемой средой. Геометрия реактора была выбрана исходя из параметров камер смешения современных форсунок, применяемых для распыливания композиционных топлив. Размеры реактора составили: высота 80 мм, диаметр Ø 55 мм, вмещаемый объем воды 100 мл, материал пластик. Общий вид реактора представлен на рис. 2.

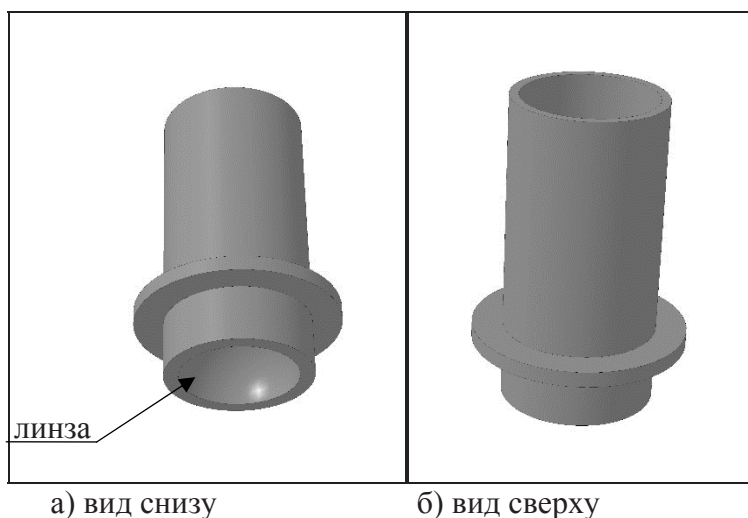


Рис. 2. Реактор

С целью фокусировки ультразвуковых колебаний в заданной точке (в нашем случае на высоте 75-80 мм от дна), под гладким дном реактора устанавливалась выпуклая вверх линза - излучатель (рис. 2, а). Экспериментально определено, что установка такой линзы увеличивает эффективность ультразвукового воздействия более чем на 400 %. Так, высота фонтана, образовавшегося под действием ультразвука над поверхностью воды без фокусирующей линзы, составила 20 миллиметров (при начальном уровне воды в реакторе 76 мл), с линзой – свыше 80 мм.

Экспериментальные исследования

В ходе экспериментов получена зависимость высоты ультразвукового фонтана от нагрузки на пьезопреобразователь (рис. 3). В нашем случае нагрузка определялась объемом воды в реакторе.

Из рисунка видно, что максимальный эффект в нашем случае достигается при объеме воды 76 мл (точка 2, рис. 3). Уменьшение объема воды на 7 мл снижает высоту ультразвукового фонтана до высоты 10 мм, т. е. на 800 % (точка 1, рис. 3). Увеличение объема также приводит к снижению эффекта. Из графика видно, что рост объема жидкости на 8 мл снижает высоту фонтана до 20 мм, т. е. на 400 % (т. 3, рис. 3).

Также получена зависимость высоты ультразвукового фонтана от потребляемой мощности генератора ультразвука (рис. 4). Объем воды в реакторе, как и в предыдущем эксперименте, поддерживался на уровне 76 мл.

Из графика видно, что увеличение мощности генератора приводит к росту высоты фонтана. Следует также отметить, что с увеличением мощности ультразвукового воздействия удельные энергетические затраты на рост высоты фонтана снижаются.



Рис. 3. Зависимость высоты фонтана от объема воды в реакторе

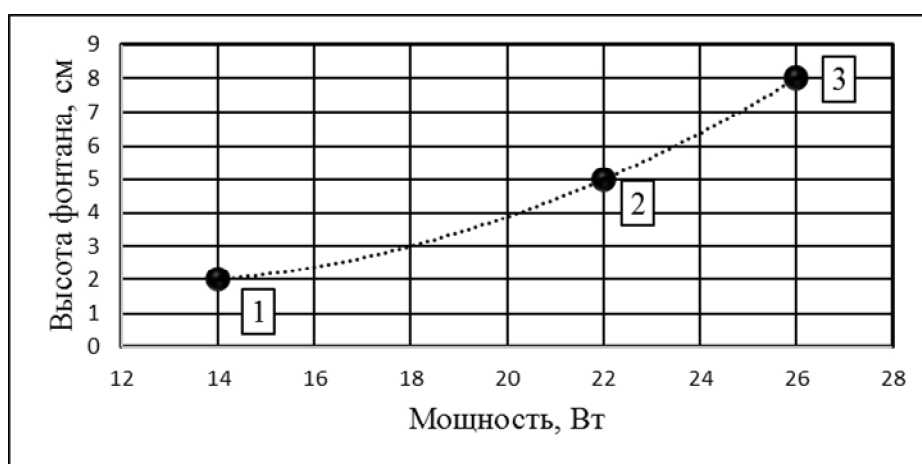


Рис. 4. Зависимость высоты фонтана от потребляемой мощности генератора ультразвуковых волн (УД-76)

К сожалению, ограничения по мощности генератора не позволили провести исследования при больших энергетических показателях ультразвукового излучения. В работе также не рассматриваются вопросы изменения физических и химических свойств жидкости под действием ультразвукового поля.

Компьютерное моделирование ультразвукового воздействия на жидкую среду

Современный уровень компьютерного CFD-моделирования позволяет исследовать тепловые, гидродинамические, химические и пр. процессы. Однако при этом не всегда учитываются различные эффекты, возникающие вследствие наложения различных полей или протекания химических реакций. С этой целью компьютерные модели требуют дополнительной верификации и уточнения. Учитывая, что дальнейшие исследования по воздействию ультразвука на топлива будут проводиться с использованием компьютерного моделирования, авторами проведен цикл работ по сопоставлению результатов численного моделирования и экспериментальных исследований.

Компьютерное моделирование процесса воздействия ультразвуковых волн на исследуемую среду (распространение давления ультразвука в жидкости) проводилось в пакете прикладных программ OpenFoam, использующего метод конечных объемов. Для описания турбулентных течений жидкости использовалась SST модель турбулентности, для описания процесса распространения столба жидкости в воздухе использовалась модель Free surface model, а для описания процесса фазового перехода из жидкости в пар Mixture model (учет эффекта ультразвукового тумана). В ходе численного моделирования в компьютерную модель

закладывались параметры, описывающие геометрию реактора, энергетические показатели ультразвукового воздействия, свойства и количество обрабатываемой среды, идентичные тем, которые описаны в разделе экспериментальных исследований. Результаты моделирования представлены на рис. 5, 6. Показано распределение полей скоростей течения воды в реакторе через 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 секунды после начала ультразвукового воздействия.

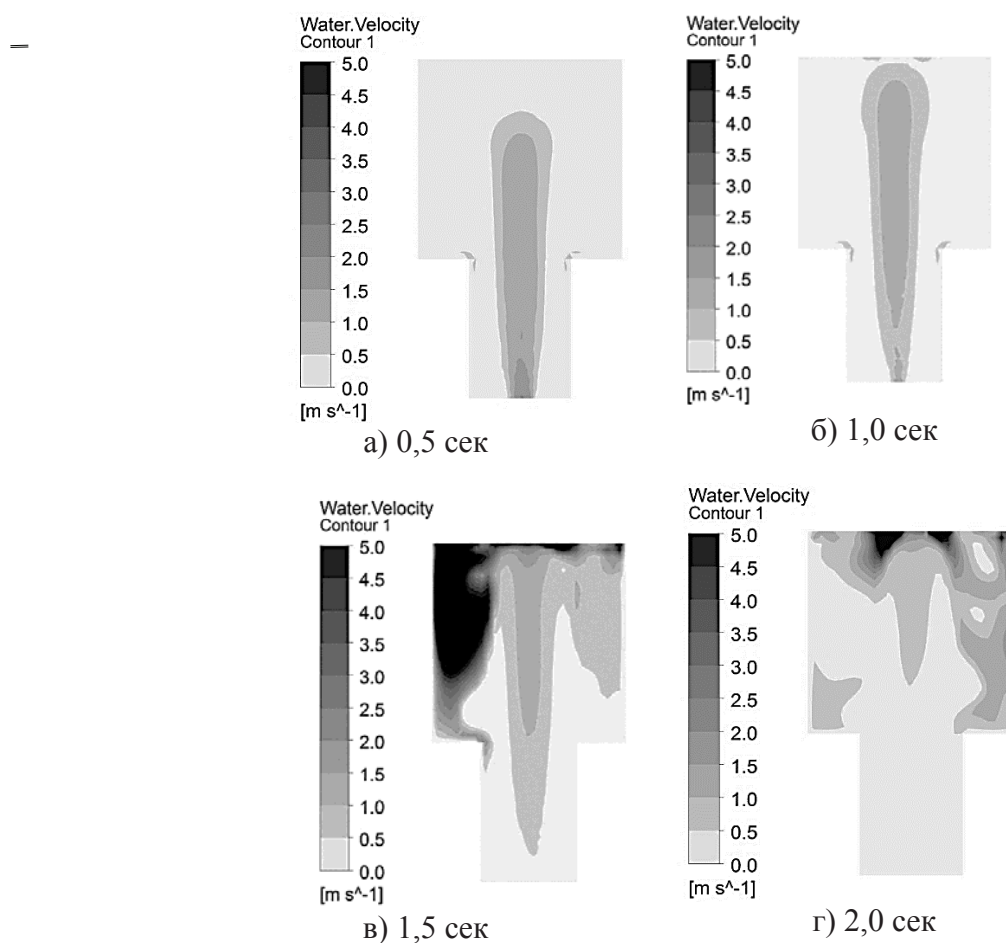


Рис. 5. Изменение поля скорости течения жидкости в реакторе во времени под действием ультразвука

Определены градиенты скорости течения воды под воздействием ультразвука во времени. Наглядно можно увидеть, что основное ускорение и наибольшая эффективность воздействия находится в геометрическом центре реактора и возрастает даже после затухания прямых ультразвуковых волн, задающих начальный характер поведения среды.

Также определен градиент объемной доли воды, находящейся под воздействием ультразвуковых волн, проходящих через нижнюю стенку реактора (рис. 6).

Результаты данного моделирования показали наличие избытка энергии фокуса, который достигается путем вхождения пьезопреобразователя в состояние резонанса, которое в свою очередь, зависит от различных факторов, в частности мощности, подведенной к пьезопреобразователю, частоты колебаний и характеристик обрабатываемой среды.

Составление результатов экспериментальных и численных исследований по определению эффективности воздействия ультразвука на жидкие среды

Визуализация результатов компьютерного моделирования и экспериментального исследования процесса образования фонтана жидкости во времени после начала действия ультразвука, представлены на рисунках 7 и 8 соответственно.

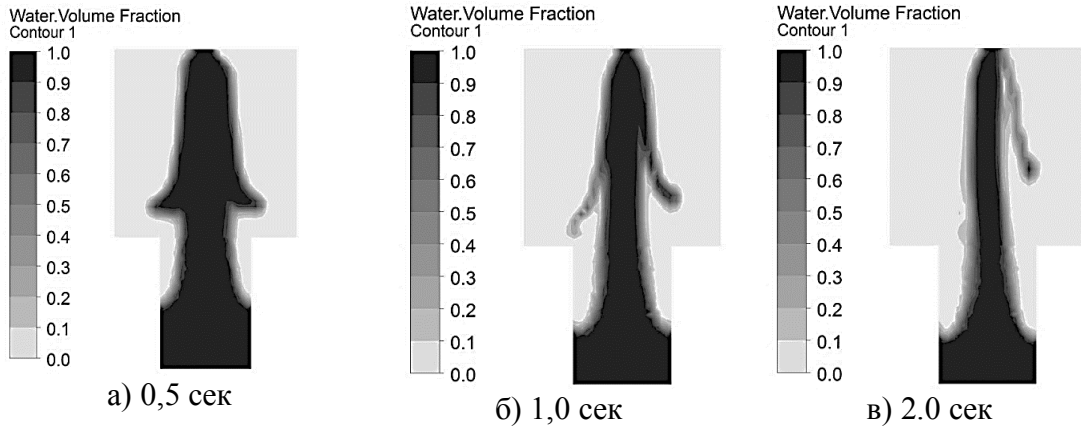


Рис. 6. Распределение объемной доли воды в реакторе во времени при воздействии ультразвука

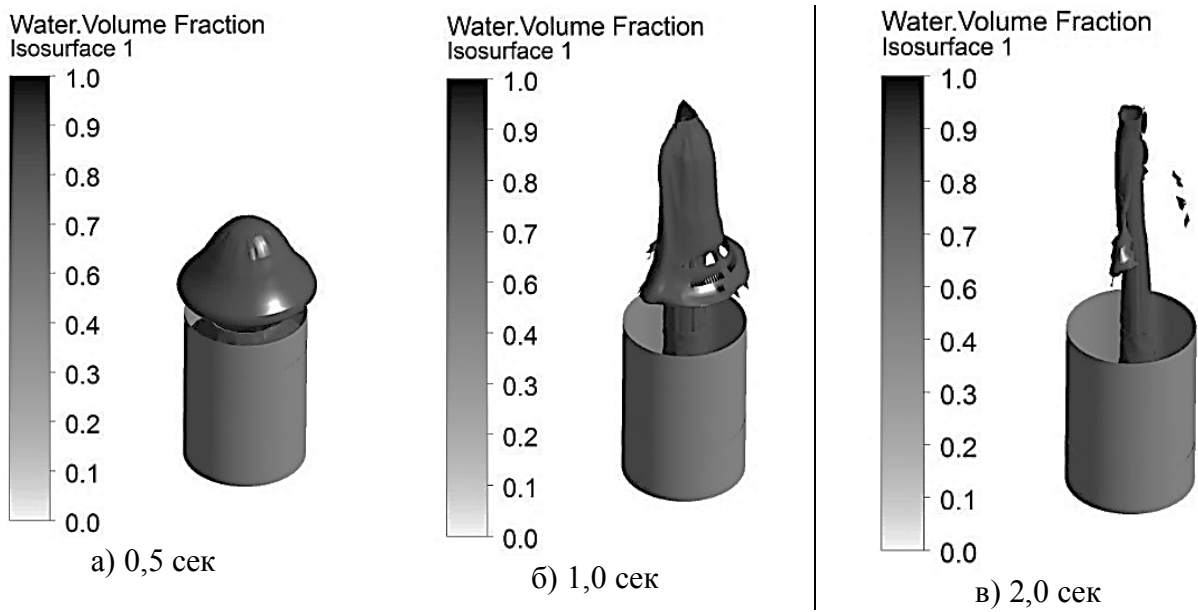


Рис. 7. Компьютерное моделирование

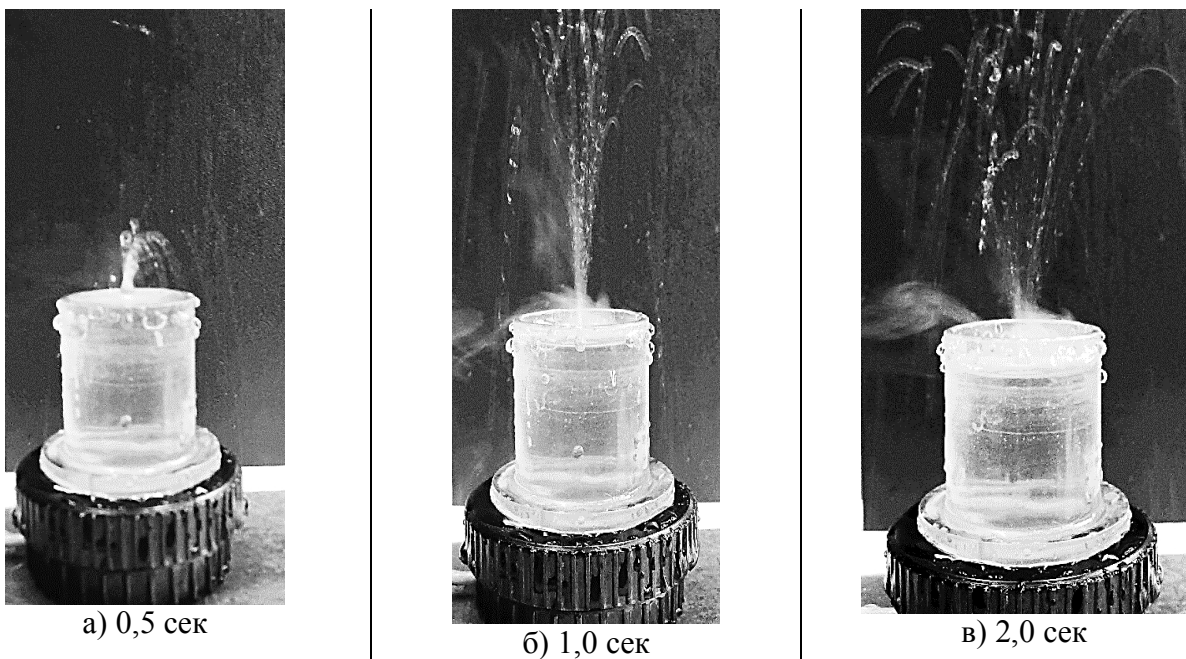


Рис. 8. Результаты проведения натурального эксперимента

Сопоставление результатов моделирования и экспериментов наглядно продемонстрировало их идентичность и подтвердило корректность компьютерной модели.

Заключение

Экспериментально показано, что ультразвуковое воздействие на воду приводит к ее диспергированию. Выявлены следующие закономерности и эффекты:

- ультразвук воздействует на воду, при этом зрительно наблюдается возникновение эффекта «ультразвукового» фонтана с образованием дисперсной фазы;
- высота фонтана и радиус его раскрытия зависят от объема воды в реакторе.

Проведено компьютерное моделирование процесса ультразвукового воздействия на воду. Показано, что полями скоростей течения жидкостей, интенсивностью диспергирования и характеристиками «ультразвукового» фонтана можно управлять частотой и мощностью пьезопреобразователя, а также конструкцией излучателя.

Данный эффект предлагается использовать в устройствах предпламенной активации и распыливания искусственных композиционных жидких топлив с целью улучшения энергоэкологических показателей энергогенерирующих установок в условиях малых размеров и сложной конфигурации деталей распылителей, работающих на малых расходах.

Дальнейшие исследования будут направлены на выявление оптимальных параметров ультразвукового воздействия (частота и мощность) на жидкие среды с точки зрения достижения задаваемых параметров диспергирования при минимизации энергетических затрат.

Список использованной литературы:

1. Кравченко, О. В. Нетрадиционные методы получения искусственных композитных жидких топлив / О. В. Кравченко, И. Г. Суворова, С. С. Холобцев // Вестн. СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология. – Севастополь: СевНТУ, 2008. – Вып. 87. – С. 34–38.
2. Обоснование целесообразности использования в промышленных энергоустановках суспензионных горючих / О. В. Кравченко, Л. В. Тарасенко, А. В. Бастеев, В. В. Форфутдинов // Авиац.-косм. техника и технология. – 2007. Вып. – № 7 (43). – С. 44–48.
3. Кравченко, О.В. Новые гидрокавитационные технологии в процессах эффективного получения и использования углеводородсодержащих энергоносителей / О. В. Кравченко // Вісн. Нац. техн. ун-ту. «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – № 2. – С. 171–178.
4. Нетрадиционные энерготехнологии эффективного получения и использования искусственных композитных жидких топлив / О. В. Кравченко, И. Г. Суворова, Я. В. Смирнов, С. С. Холобцев // Авиац.-косм. техника и технология. – Харьков, 2006. – № 10 (36). – С. 91–97.
5. Пат. 79617 Украина МПК (2006) C10G 15/00. Способ кавитационной гидрогенизации и гидролиза углеводородов и устройство для его осуществления / И. И. Мирошниченко, Ю. М. Мацевитый, И. И. Мирошниченко, О. В. Кравченко, А. А. Тарелин; заявитель и патентодержатель Ин-т проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины. – № а 2005 00188; заявл. 10.01.2005; опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
6. Заявка 2005 10753 Україна, МПК7 B01F 7/00, C 10 G 7/06. Спосіб переробки мазуту та роторно-кавітаційний диспергатор для його здійснення / І. І. Мирошниченко, І. Г. Суворова, Ю. М. Мацевитий, О. В. Кравченко, А. О. Тарелін, І. І. Мірошниченко (Україна). – Заявл. 14.11.05.
7. Астахов К. В. Термодинамические и термохимические константы / К. В. Астахов. — М.: Наука, 1970 – 163 с.
8. Шалунов А. В. Исследование процесса и разработка аппаратов ультразвукового диспергирования жидкостей: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. – Б., 2006. – 159 с.
9. Хмельов В. Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве / В. Н. Хмельов, О. В. Попова. – Барнаул: АлтГТУ, 1997. – 160 с.
10. Уразовский С. С. О диспергировании ультразвуком. Коллоидн. журн., т. 6, вып. 9 / С. С. Уразовский, И. Г. Полоцкий. – 1940. – С. 779–785.
11. Маркова А. И. Применение ультразвука в промышленности / Под общей редакцией А. И. Маркова. – М.: Машиностроение, 1975. – 240 с.
12. Гершгал Д. А. Ультразвуковая технологическая аппаратура. Учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / Д. А. Гершгал, В. М. Фридман – М.: Энергия, 1976. – 320 с.
13. Агранат Б. А. Ультразвуковая технология / Под общей редакцией Б. А. Агранат – М.: Metallurgia, 1974. – 504 с.
14. ЦТС – 19 - Режим доступа : URL: <http://www.elpapiezo.ru/generalpurpose.shtml>.

References:

1. Kravchenko O. V., Suvorova I. G., and Kholobtsev S. S. (2008), Nonconventional Methods of Producing Artificial Composite Liquid Fuels [Netradicionnye metody polycheniya iskystvennykh kompozitnykh zhidkikh topliv]. Vestn. SevNTU. Ser. Mekhanika, energetika, ekologiya. Sevastopol: SevNTU, Issue 87, P. 34–38.
2. Kravchenko O. V., Tarasenko L. V., Basteev A. V. and Forfutdinov V. V. (2007), Substantiating the Effectiveness of Using Suspension Fuels in Industrial Power Plants [Obosnovanie tselesoobraznosti ispol'zovaniya v promishlennih energoystanovkakh syспенziонnih goryuchih]. Aviats.-kosmich. tekhnika i tekhnologiya, No. 7 (43), P. 44–48.
3. Kravchenko O. V. (2007), New Hydrocavitation Technologies in the Processes of Effective Production and Usage of Hydrocarbon-Containing Energy Carriers [Novie gidrokavitatsionnye tekhnologii v protsesah effektivnogo polycheniya i ispol'zovaniya yglevodorodosoderzhashikh energonositeley]. Visn. Nats. Tekhn. Un. Kharkiv Polytechnic Institute. Kharkiv: NTU KhPI, No. 2, P. 171–178.
4. Kravchenko O. V., Suvorova I. G., Smirnov Y.V. and Kholobtsev S. S. (2006), Unconventional energy technologies for efficiently producing and using artificial composite liquid fuels [Netraditsionnye energotekhnologii effektivnogo polucheniya i ispol'zovaniya iskystvennykh kompozitnykh gidkikh topliv]. Scientific and technical journal NAU "HAI". Aviats.-kosmich. tekhnika i tekhnologiya. Харьков., No. 10 (36), P. 91–97.
5. Patent UA79,617. IPC (2006), C10G 15/00. Method of Cavitation Hydrogenation and Hydrolysis of Hydrocarbons and a Device Therefor / I. I. Miroshnichenko, Yu. M. Matsevyt, I. I. Miroshnichenko, O. V. Kravchenko, A. A. Tarelin; applicant and patent holder A.N. Podgorny Inst. Problems in Mechanical Engineering NAS of Ukraine. – No. a2005 00188; filed 10.01.2005; publ. 10.07.07, Bull. No. 10.
6. Application UA № 2005 10753 Ukraine, IPC B01F 7/00, C 10 G 7/06. Method of processing heavy oil and rotary-cavitation dispersant for its implementation / I. I. Miroshnichenko, I. G. Suvorova, Yu. M. Matsevyt, O. V. Kravchenko, A. O. Tarelin, I. I. Miroshnichenko (Ukraine). – field 14.11.05.
7. Astahov K. V. (1970), Thermodynamic and thermochemical constants [Termodinamicheskie i termohimicheskie konstanti], Science, Moscow, 163 p.
8. Shalynov A. V. (2006), Investigation of the process and the development of Ultrasound dispersing liquids: dissertation [Issledovanie processa i razrabotka apparatov yltrazvykovogo dispergirovaniya zhidkostey: dis. ... kand. tech. nauk], Biysk, 159 p.
9. Hmelev V. N. and Popova O. V. (1997), Multifunctional ultrasonic devices and their application in small industries, agriculture and at home [Mnogofunktsional'nie ultrazvukovie apparaty i ikh primeneniye v usloviyakh malyykh proizvodstv, sel'skom i domashnem khozyaystve]. Alt. gos. Tehn. Univ. im. I. I. Polzynova. Barnayl: AltGTU, 160 p.
10. Yrazovskiy S. S. and Polockiy I. G. (1940), About dispersed by ultrasound [O dispergirovanii ultrazvukom]. Colloid Journal. Volume 6, Issue 9, P. 779–785.
11. Markova A. I. Ed. (1975), Application of ultrasound in the industry [Primeneniye ultrazvyka v promishlennosti]. Moscow: Mechanical engineering, 240 p.
12. Gershgal D. A. and Fidman V. M. (1976), Ultrasonic technology hardware [Ultrazvukovaya tekhnologicheskaya apparatura. Ucheb. Posobie. – 3-e izd., pererab. i dop.]. Moscow: Energy, 320 p.
13. Agranat B. A. Ed. (1974), Ultrasonic technology [Ultrazvukovaya tekhnologiya]. Moscow: Metallurgy, 504 p.
14. Characteristics of CTS–19 [Kharakteristiki CTS–19]. Available at: <http://www.elpapiezor.ru/generalpurpose.shtml>. [Accessed: 26 November 2014].

Поступила в редакцию 29.11 2014 г.