

УДК 665.6

О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, И.А. Баранов, В.А. Гоман

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СЖИГАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АКТИВАЦИИ

В работе представлены теоретические основы и принципы разработки новых технологий получения и сжигания композиционных топлив с использованием методов активации. При производстве композиционных топлив применяется метод гидрокавитационной активации, а на стадии сжигания используются уникальные гидровихревые форсунки для ультрадисперсного распыливания композиционных топлив, а также при необходимости СВЧ-плазмотрон. Создан энерго-технологический комплекс для отработки технологических регламентов производства и сжигания композиционных топлив с различными компонентными составами. С использованием разработанного комплекса было проведено ряд испытаний по приготовлению различных композиционных топлив на основе танкерных смывов, пиролизных топлив, угля, фенольной сточной воды биоила и др. Экспериментальные исследования показали эффективность предложенных подходов и возможность применения созданных топлив в энергетическом секторе.

Ключевые слова: композиционные топлива, гидрокавитационная активация, гидровихревая форсунка, энерго-технологический комплекс.

Истощение запасов невозобновляемых источников энергии, а также высокая цена углеводородных топлив (газ, мазут, дизельное топливо, бензин) ставят чрезвычайно актуальную задачу их рационального использования, а также их частичной замены композиционными топливами на основе низкорекреационных компонентов и различных отходов. В состав таких топлив могут входить некондиционные углеводороды, в том числе застаревший мазут, танкерные смывы, кубовые остатки, уголь, биомасса, промышленные стоки (например, фенольная вода) и др. Такой подход позволяет при незначительных затратах решить сразу две задачи – получить дополнительную энергию и решить экологическую проблему утилизации или даже обеззараживания отходов. Однако существует ряд проблем и ограничений при использовании таких топлив, которые связаны с невозможностью организации качественного горения ввиду их недостаточной однородности и зачастую низкой реакционности, а также несоответствия характеристик композиционных топлив требованиям, предъявляемых к ним при использовании стандартных горелочных устройств.

Помимо организации качественного распыливания и эффективного сжигания композиционных топлив, чрезвычайно важным является постоянный контроль вредных выбросов. Поэтому технологии для производства и сжигания каждого вида композиционного топлива отрабатывается индивидуально с учетом всех перечисленных факторов.

В настоящей работе представлены перспективные технологии и оборудование для производства и сжигания различных видов композиционных топлив на основе использования принципов активации, применяемых как на стадии приготовления топлива, так и на стадии его сжигания. Так, при производстве топлива применяется метод гидрокавитационной активации. На стадии сжигания применяются гидровихревые форсунки, обеспечивающие ультрадисперсное распыливание, тем самым, увеличивая площадь контакта топлива и окислителя в камере сгорания.

Получение высококачественной топливной эмульсии или суспензии (в случае наличия твердой фазы) производится с применением наиболее эффективного – гидрокавитационного метода. Кроме того, данный метод активации химико-технологических процессов инициирует частичное протекание химических реакций [1-8], таких, как гидролиз, гидрогенизация, гидрокрекинг, благодаря чему можно добиваться улучшения потребительских свойств композиционных топлив. Кавитация [9-12] – это процесс образования пузырьков газовой фазы в жидкой среде при пониженных локальных давлениях, которые при попадании в зону с более высоким давлением схлопываются с образованием высокоскоростных кумулятивных струек. В этом случае, при наличии водной фазы в эмульсии, молекулы воды переходят в возбужденное состояние и расщепляются на H^+ и гидроксильную группу OH^- , а темпера-

тура и давление в зонах схлопывания кавитационных пузырьков обеспечивают протекание описанных химических реакций. Таким образом, добавление некоторого количества воды (5 % – 20 %) в углеводородную фракцию существенно усиливают эффект гидрокавитационной активации.

Для разработки технологий приготовления и сжигания композиционных топлив в отделе нетрадиционных энерготехнологий Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины создан экспериментальный энерготехнологический комплекс, схема которого представлена на рис. 1. К основным функциональным назначениям данного комплекса является отработка технологических регламентов производства и сжигания композиционных топлив с различными компонентными составами. Также на нем выполняются исследования влияния различных факторов (таких как размер и форма частиц твердой фракции, размер капель водной фазы, качество распыла при сжигании, интенсивность гидрокавитационной обработки, количественное соотношение компонентов и др.) на физико-химические свойства топлива, его седиментационную устойчивость и энергоэкологические показатели процесса сжигания.

Рассматриваемый комплекс включает несколько исследовательских и технологических модулей. Для предварительного измельчения твердой фазы, в частности угля, используются: щековая дробилка,

барабанно-шаровая мельница, атритор; для получения высококачественных эмульсий - «луночный» диспергатор, различные дисмембраторы и кавитационные устройства. Комплекс также укомплектован дезинтегратором грубого помола, устройством для гидрокавитационной обработки топливных эмульсий и суспензий (рис. 2), кавитатором, гидровихревыми и гидрокавитационными форсунками, горелочным устройством и системой термобарометрической и физико-химической диагностики.

Для приготовления «модельного» композиционного топлива с заданными потребительскими свойствами используются различные отдельные узлы комплекса или его комбинации. Так, для приготовления водоугольномазутных или водоугольных суспензий используются устройства для грубого размола, доизмельчения частиц до необходимой дисперсности, гидрокавитационной обработки, предпламенной активации, распыливания при сжигании полученного топлива. Использование кранов, задвижек, дросселей, а также варьирования скоростей вращения роторов агрегатов дает возможность проведения исследования процессов гидрокавитационной обработки эмульсий и суспензий в широком диапазоне изменения параметров процесса их производства. По всему тракту комплекса проводятся измерения и регистрация изменения температур и давлений.

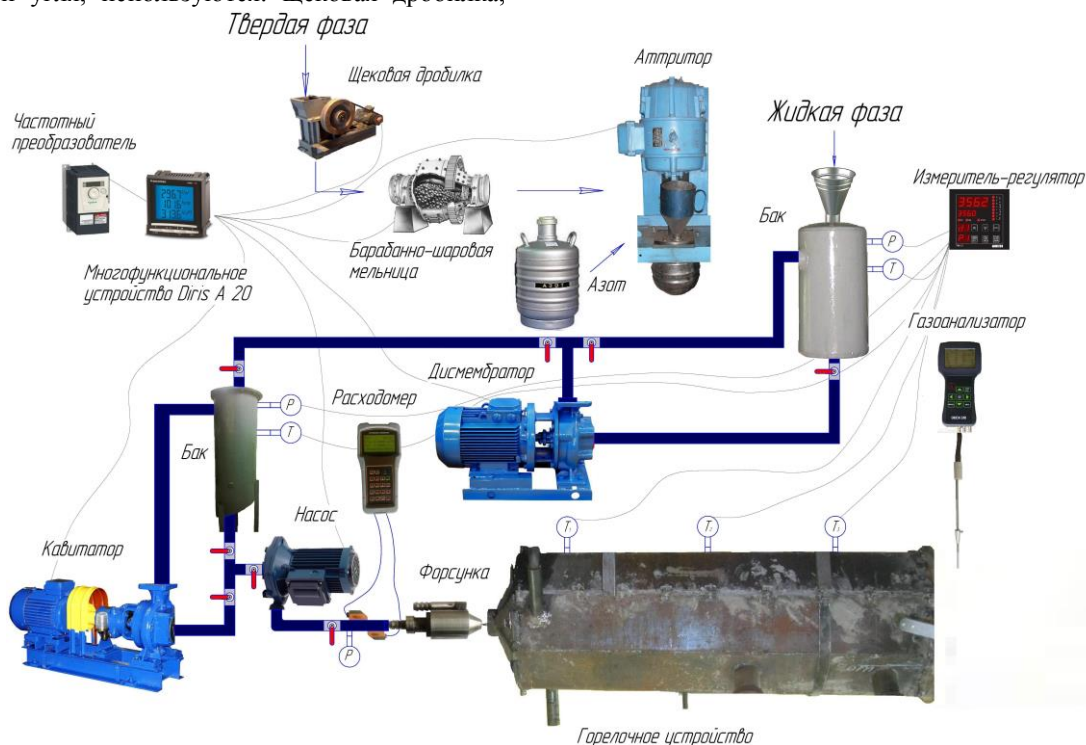


Рис. 1. Экспериментальный энерго-технологический комплекс для исследования процессов производства, подготовки и сжигания новых «модельных» видов жидких композиционных топлив



Рис. 2. Устройство для гидрокавитационной активации топливных эмульсий и суспензий

Для оценки энергетических затрат на гидрокавитационную активацию композиционных топлив в энерготехнологическом комплексе используется многофункциональное устройство Diris A20 для измерения параметров и объемов потребляемой электроэнергии.

При приготовлении топливных эмульсий составные компоненты поступают в луночный диспергатор для предварительного эмульгирования и создания необходимой дисперсности жидкой фазы, далее проводится гидрокавитационная обработка эмульсии с целью изменения структурирования топлива (увеличения в топливе «легких» дистиллятных фракций, улучшения теплофизических характеристик и реологических свойств). Дальнейшее сжигание полученных топливных композиций производится в горелочном устройстве, обеспечивающем тангенциальную подачу вторичного воздуха для улучшенного смешивания распыливаемого топлива с вторичным воздухом. С целью дополнительной СВЧ-плазменной активации топлив, особенно в случае их низкой реакционной способности, в состав горелочного устройства входит плазмотрон. Таким образом, экспериментальное горелочное устройство позволяет проводить исследования процессов сжигания топлива как прямоточным, так и вихревым способами, с применением высокорекреакционного топлива для подсветки и без него, но с использованием СВЧ-плазмы. Также особенностью данного горелочного устройства, представленного на рисунке 3, является применение в нем гидровихревых форсунок (рисунок 4) [13-14], в которых

диспергирование топлива осуществляется в вихревой камере смешения, и за счет чего они не засоряются при использовании даже вязких суспензионных топлив. Факел топливно-воздушной смеси при использовании таких форсунок однородный и полностью заполненный, что обеспечивает стационарное однородное горение.

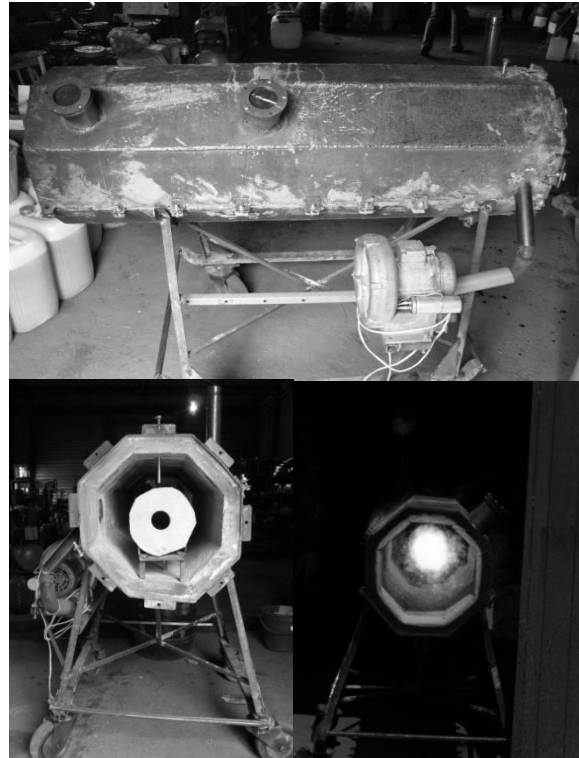


Рис. 3. Горелочное устройство

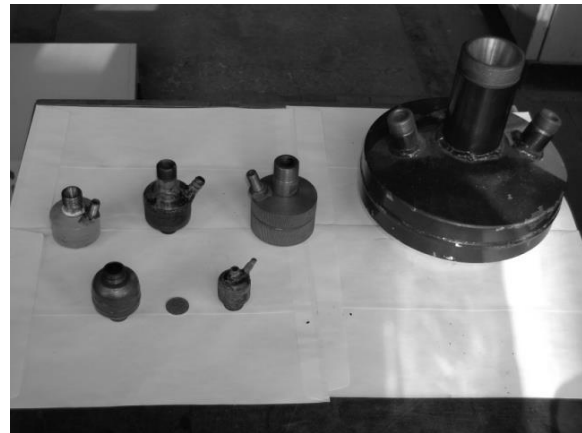


Рис. 4. Гидровихревые форсунки

С использованием представленного энерготехнологического комплекса проведены экспериментальные испытания по активации модельного эмульсионного топлива «вода-мазут-дизельное топливо-бензин». В таблице 1 представлены результаты фракционной разгонки данного композиционного топлива при двух видах обработки – эмульгирование и гидрокавитационная активация.

Таблица 1.

		Режим обработки	
		Эмульгирование	Кавитация
Температура начала кипения, °С		93	91
Температура при разгонке, °С	10 %	114	120
	20 %	131	137
	30 %	149	154
	40 %	166	175
	50 %	214	209
	60 %	278	251
	70 %	295	290
	80 %	-	315
	90 %	-	320
Температура конца кипения, °С		295	330
Выход фракций		70%	94%

Представленные результаты температурной перегонки произведенных топливных композиций показывают существенные различия их фракционного состава в зависимости от технологии и режимов их обработки. Также, проведен ряд экспериментальных исследований по приготовлению и сжиганию таких композиционных топлив:

- 1) композиционное топливо из танкерных смывов;
- 2) пиролизное топливо на основе отходов резины;
- 3) пиролизное топливо на основе отходов пластмассы и пластика;
- 4) водоугольное топливо на основе высокозольного угля;
- 5) композиционное топливо на основе высокозольного угля, воды и пиролизного топлива;
- 6) водомазутное топливо на основе фенольной сточной воды;
- 7) водоугольное топливо на основе фенольной сточной воды;
- 8) композиционное топливо на основе мазута и биоила очистных сооружений.

При сжигании всех вышеперечисленных топлив производился контроль вредных выбросов, которые не превышали ПДК.

Выводы

Разработка технологий приготовления и сжигания композиционных топлив является очень важной и актуальной проблемой. Такие технологии являются чувствительными к компонентному составу и должны разрабатываться под каждый состав топлива индивидуально. В отделе нетрадиционных энерготехнологий Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного

НАН Украины разработан энерготехнологический комплекс, который позволяет отрабатывать каждую стадию приготовления и сжигания топлива с учетом необходимой активации. С использованием разработанного комплекса было проведено ряд испытаний по приготовлению различных композиционных топлив на основе танкерных смывов, пиролизных топлив, угля, фенольной сточной воды биоила и др. Экспериментальные исследования показали эффективность предложенных подходов и возможность применения созданных топлив в энергетическом секторе.

Литература

1. Кравченко О.В. Нетрадиционные энерготехнологии эффективного получения и использования искусственных композитных жидких топлив / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, Я.В. Смирнов, С.С. Холобцев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. Вып. – № 10(36). – С. 91 – 97.
2. Кравченко О.В. Физико-химические преобразования углеводородных соединений с использованием новых кавитационных устройств / О.В. Кравченко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – Вып. – 1(37). – С. 65 – 69.
3. Кравченко О.В. Нетрадиционные методы получения и сжигания жидких топлив / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, С.С. Холобцев // *Вісник Міжнародного Слов'янського університету*. – 2007. – Т 10. – № 1. – С.14–19.
4. Кравченко О.В. Обоснование целесообразности использования в промышленных энергоустановках суспензионных горючих / О.В. Кравченко, Л.В. Тарасенко, А.В. Бастеев, В.В. Форфутдинов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. Вып. – № 7(43). – С. 44 – 48.
5. Кравченко О.В. Новые гидрокавитационные технологии в процессах эффективного получения и использования углеводородсодержащих энергоносителей / О.В. Кравченко // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – №2. – С. 171 – 178.
6. Кравченко О.В. Нетрадиционные методы получения искусственных композитных жидких топлив / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, С.С. Холобцев // *Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология*. – Севастополь: СевНТУ, 2008. – Вып. 87. – С. 34–38.
7. Пат. 79617, Украина, МПК (2006) C10G 15/00. Способ кавитационной гидрогенизации и гидролиза углеводородов и устройство для его осуществления / Мирошниченко И.И., Мацевитый Ю.М, Мирошниченко И.И., Кравченко О.В., Тарелин А.А.; заявитель и патентодержатель Ин-т проблем машинострое-

- ня ім. А.Н. Подгорного НАН України. – № а 2005 00188; заявл. 10.01.2005; опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
8. Кравченко О.В. Получение водорода в процессах гидрокавитационной обработки воды и водосодержащих суспензий и эмульсий / О.В. Кравченко // Проблемы машиностроения. – 2007. – Т 10. – № 2. – С. 103 – 110.
9. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. (Теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов). Часть 1. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К.: “Полиграфкнига”, 1997. – 840с.
10. Федоткин И.М. Интенсификация процессов смешения диспергирования гидродинамической кавитацией. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый, В.В. Боровский. – К.: “Артур-А”, 1998. – 128с.
11. Федоткин И.М. Кавитационные энергетические аппараты и установки. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К.: “Артур-А”, 1998. – 136с.
12. Федоткин И.М. Использование кавитации в промышленности. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый, Н.И. Шаповалюк. – К.: “Артур-А”, 1998. – 134с.
13. Пат. 82138, Україна, МПК (2006) B01F 5/02, B01F 5/04, B01F 5/06, B02C 19/06. Змішувач-форсунка / Суворова І.Г., Кравченко О.В.; заявник і патентоутримувач Ін-т проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України. – № а 2006 06859; заявл. 19.06.2006; опубл. 11.03.08, Бюл. № 5.

14. Пат. на корисну модель 89291 Україна, МПК (2014.01) F23D 11/00, B01F 3/00, B01F 5/00. Форсунка-активатор / Кравченко О.В., Суворова І.Г., Баранов І.А., Тарасенко Л.В.; заявник і патентоутримувач Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України. – № у 2013 14346; заявл. 09.12.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.

Автор: КРАВЧЕНКО Олег Викторович
Інститут проблем машиностроєння ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий сот рудник.
E-mail – krav@ipmach.kharkov.ua

Автор: СУВОРОВА Ірина Георгіївна
Інститут проблем машиностроєння ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків, доктор технічних наук, професор.
E-mail – suviryna@mail.ru

Автор: БАРАНОВ Ігорь Андреевич
Інститут проблем машиностроєння ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків, кандидат фізико-математических наук.
E-mail – bia.84@mail.ru

Автор: ГОМАН Віталій Александрович
Інститут проблем машиностроєння ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків.
E-mail – goman-1987@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ І СПАЛЮВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ АКТИВАЦІЇ

О.В. Кравченко, І.Г. Суворова, І.А. Баранов, В.О. Гоман

У роботі представлені теоретичні основи і принципи розробки нових технологій одержання і спалювання композиційних палив з використанням методів активації. При виробництві композиційних палив застосовується метод гідро кавітаційної активації, а на стадії спалювання використовуються унікальні гідровихрові форсунки для ультрадисперсного розпилювання композиційних палив, а також при необхідності СВЧ-плазматрон. Створено енерго-технологічний комплекс для відпрацювання технологічних регламентів виробництва і спалювання композиційних палив з різними компонентними складами. З використанням розробленого комплексу було проведено ряд випробувань по приготуванню різних композиційних палив на основі танкерних змивів, піролізних палив, вугілля, фенольної стічної води, біомула і ін. Експериментальні дослідження показали ефективність запропонованих підходів і можливість застосування створених палив в енергетичному секторі.

Ключові слова: композиційні палива, гідрокавітаційна активація, гідровихорева форсунка, енерго-технологічний комплекс.

ADVANCED TECHNOLOGIES OF COMPOSITE FUELS PRODUCTION AND COMBUSTION ON THE BASIS OF ACTIVATION METHODS

O.V. Kravchenko, I.G. Suvorova, I.A. Baranov, V.A. Goman

The paper presents the theoretical foundations and principles of new technologies development for production and combustion of composite fuels using the activation methods. During production of the composite fuels the hydrocavitation activation method is used, and the combustion stage of technology use the unique hydrovortex nozzles for composite fuels ultradispersed atomization, and optionally a microwave plasmatron. The energy-technological complex for testing process procedures of composite fuels production and combustion with different component composition is created. Using the developed complex the series of tests for the production of various composite fuels on the basis of tanker washes, pyrolysis fuels, coal, phenolic wastewater, biosilt et al. are conducted. Experimental studies have shown the effectiveness of the proposed approaches and the possibility of created fuels using in the energy sector.

Keywords: composite fuels, hydrocavitation activation, hydrovortex nozzle, energy-technological complex.