

УДК 631.372+662.756.3

UDC 631.372+662.756.3

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СМЕСИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ПОВЫШЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЙ****INVESTIGATION OF HYDRODYNAMIC MIXER FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM VEGETABLE OILS HYPERACIDITY IN CONDITIONS AGRICULTURAL ENTERPRISES**

Хоанг Нгиа Дат

Hoang Nghia Dat

аспирант

postgraduate student

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО ДГТУ) 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Don state technical university, Россия, 344000, Russia, Rostov-on-Don, pl. Gagarin 1

e-mail: [vniptim07@mail.ru](mailto:vniptim07@mail.ru)

В статье представлено исследование гидродинамического смесителя для получения биодизельного топлива из растительных масел повышенной кислотности в условиях сельхозпредприятий. Рассмотрен процесс функционирования гидродинамического смесителя, осуществляющего смешивание потоков биодизельного топлива из яatroфового масла, с повышенной кислотностью с углекислым газом для его промывки. Получили закономерности, раскрывающие взаимосвязь параметров (диаметра и длины камеры смешивания), режимов (давление и скорость потока) со свойствами среды (динамическая вязкость, плотность, упругость) с энергетическими показателями процесса (мощность на перемешивание). На основании метода подобия и размерностей физических величин получен критерий турбулентности потока. Обоснован режим (давление на срезу сопла соответствует критическому), при котором углекислый газ приобретает в камере смешивания свойства жидкости, растворяясь в биотопливе, а смесь становится квазиоднородной. Обоснованный критерий смены режимов потока из сверхзвукового в дозвуковой, позволил определить условие квазиоднородности смеси. Доказано, что формируемый при этом сверхзвуковой поток жидкость-газ трансформируется в дозвуковой, сопровождаемый при акустическом эффекте кавитации прыжком перемешивания за счет изоэнтропного скачка давления. Обоснована физика процесса кавитационного воздействия углекислого газа на биодизельное топливо, результатом которого является улучшение физико-химических свойств среды за счет структуризации молекул раствора, что положительно влияет на смешивание

The article presents an investigation of hydrodynamic mixer for biodiesel production from vegetable oils hyperacidity in the conditions of agricultural companies. The process of hydrodynamic mixer which mixes the flow of biofuels from jatropha oil with carbon dioxide to wash it. The regularities of disclosing the relationship of the parameters (diameter and length of the mixing chamber), the mode (the pressure and flow rate) from the medium (dynamic viscosity, density, elasticity) to the energy characteristics of the process (mixing power on). Based on the method of similarity and dimensions of physical quantities obtained criterion turbulence. A reduction in the flow pressure and agitation power with increasing diameter. We have justified the mode (pressure at the nozzle exit corresponds to the critical), in which the carbon dioxide gets into the mixing chamber properties of liquids, solutions for biofuels, and the mixture becomes a quasi-homogeneous. Based criteria of regime change from a supersonic flow in the subsonic, allowed us to determine the condition of quasi-homogeneity of the mixture. It is proved that we form a supersonic flow liquid-gas at the same time it is transformed into subsonic, accompanied by the acoustic cavitation effect leap remixing due to isentropic pressure jump. The article justifies the physics of cavitation effects of carbon dioxide on biofuels, result of which is to improve the physical and chemical properties of the medium due to the structuring of the molecules of the solution, which has a positive effect on the mixing

Ключевые слова: БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, ЯТРОФА, КАВИТАЦИЯ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ СМЕСИТЕЛЬ, ПАРАМЕТРЫ

Keywords: BIOFUEL, JATROPHA, CAVITATION, HYDRODYNAMIC MIXER, PARAMETERS

Основным вопросом, стоящим на пути прогресса в современном мире, является вопрос о развитии энергетики. Проблема получения альтернативных источников энергии очень актуальна, особенно, во Вьетнаме. Популярны биодизельные культуры в мире – рапс, соя, пальма, подсолнечник не растут или не дают высокую урожайность во Вьетнаме. Известна произрастающая во Вьетнаме биодизельная культура ятрофа, которая устойчива к засухе и вредителям, при этом её семена содержат до 40% масла. Для производства биодизельного топлива можно использовать переработанное масло семян ятрофы. В настоящее время ятрофа используется в основном для экспорта, потому что нет эффективной технологии производства биодизельного топлива, в том числе в условиях небольших предприятий.

Для производства биодизельного топлива в условиях сельхозпредприятий в странах ближнего и дальнего зарубежья (в Польше, Германии, США, Украине и др.) по упрощённой технологии выпускается специальное оборудование. В ФГБНУ СКНИИМЭСХ разработано модульное оборудование, которое входит в состав имеющейся нефтебазы хозяйства и позволяет производить биодизельное топливо, используя местную сырьевую базу. Это оборудование имеет ряд технологических преимуществ перед другими типами, относительно низкую стоимость и выпускается ОАО «ЗИОСАБ – ДОН» (г. Волгодонск Ростовской области). Технологический процесс производства биодизельного топлива представляет собой несколько этапов: производство растительного масла, производство биодизеля, производство смесового топлива.

Получение растительного масла из семян масличных культур обеспечивает модуль БИОСОИЛ - 200 (рисунок 1, а). Качество растительного масла гарантируется применением экструдеров, отжимающих масло методом холодного прессования, что позволяет избавить готовый продукт от

вредных ферментов, фосфатидов и получать растительное масло категории В 1.



Рисунок 1 – Модули для производства биотоплива из растительного масла:

а) БИОСОИЛ - 200; б) БИОДОН -1

Производство биодизеля происходит путем переработки растительных масел методом этерификации в модуле БИОДОН-1 (рисунок 2, б). В результате получается биодизель (метиловый эфир жирных кислот) и технический глицерин. Модуль состоит из реактора, промывочной емкости, емкости для приготовления раствора катализатора, устройства для смешивания, конденсатора для охлаждения паров метанола, насосов для подачи и циркуляции реагентов в реакторе и выдачи готового продукта, расходомеров для контроля протекания процессов и учета готового продукта, шкафа автоматизированного управления. Оборудование смонтировано в специальном контейнере с проточно-вытяжной вентиляцией. Получаемый биодизель, по своему молекулярному составу близок к дизельному топливу и может использоваться в качестве добавки в дизельное [1, 2].

Модульное оборудование для производства биодизельного топлива из растительных масел (рисунок 2) состоит из емкости для смешивания, гидродинамического смесителя, насосной станции, запорной арматуры, шкафа управления и обеспечивает получение биодизеля, в различном про-

центном соотношении компонентов. Гидродинамический смеситель предназначен для интенсификации процессов смешивания масла и метилового спирта при этерификации.



Рисунок 2 - Модульная установка для производства биотоплива

При повышенной кислотности растительного масла, в частности ятрофы (*Jatropha Curcas*), особое значение имеет завершающая стадия технологии производства биодизельного топлива, заключающаяся в промывке и омылении полученного при этерификации продукта углекислым газом. Промывка биодизельного топлива углекислым газом, осуществляемая гидродинамическим смесителем, является операцией по его очистке, в течение которой завершается формирование и образование в реакционной массе осадка, включающего сульфатные мыла.

Гидродинамический смеситель обеспечивает смешивание и обмен энергией двух потоков: сырья биодизельного продукта, полученного из ятрофового масла с повышенной кислотностью, и углекислого газа для его промывки и омыления. В смесителе (рисунок 3) установлена игла для регулирования выхода углекислого газа (рисунок 4).

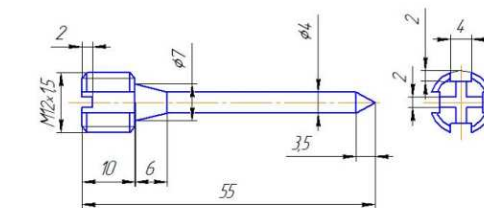
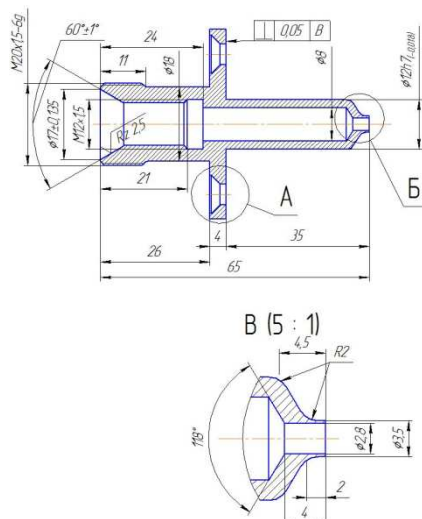


Рисунок 4 – Игла для регулирования выхода газа

Рисунок 3 – Гидродинамический смеситель

В результате исследований получили закономерности, раскрывающие взаимосвязь параметров и режимов работы гидродинамического смесителя со свойствами среды «промываемое биодизельное топливо – углекислый газ» с энергетическими показателями технологического процесса, к которым относится мощность на перемешивание (рисунок 5).

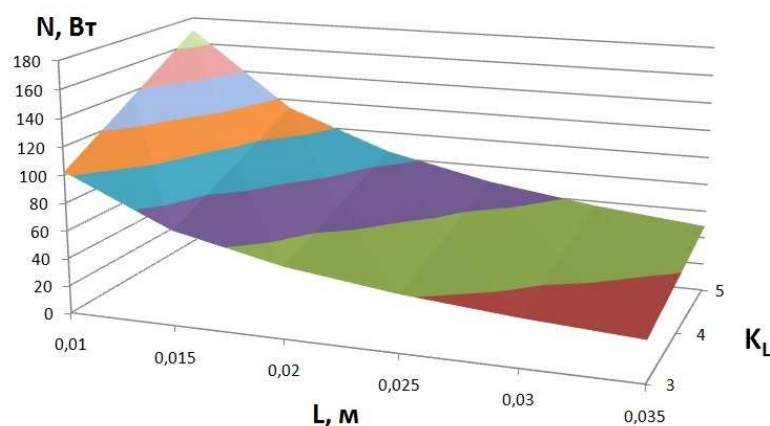


Рисунок 5 – Закономерность изменения параметров и режимов функционирования гидродинамического смесителя

Физический смысл полученной закономерности (рисунок 5) заключается в следующем: объему смеси необходимо совершить работу на пути, соответствующем длине камеры смешивания ( $L$ ), чтобы достичь требуемой

степени гомогенности. Чем короче путь (меньше длина камеры смешивания), тем для достижения заданных качественных показателей процесса требуется больше затратить энергии (мощности  $N$ ) при условии постоянства других параметров. С увеличением коэффициента пропорциональности ( $K_L$ ), связывающего длину и диаметр камеры смешивания, мощность на гомогенизацию увеличивается, то есть возрастают энергозатраты. Таким образом, данный энергетический показатель процесса снижается при увеличении диаметра камеры смешивания.

На основании метода подобия и размерностей физических величин [3, 4, 5, 6] получен критерий турбулентности потока:

$$\Delta p = \frac{10^8 \cdot \mu^2}{2 \cdot D^2 \cdot \rho}, \quad (1)$$

где  $\Delta p$  - давление потока, Н/м<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр трубопровода, м;  $\rho$  - плотность биодизельного топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости,  $\frac{H \cdot c}{m^2}$ .

Обоснован режим (давление на срезе сопла соответствует критическому), при котором углекислый газ приобретает в камере смешивания свойства жидкости, растворяясь в биодизельном топливе, а смесь становится квазиоднородной:

$$v = \sqrt{4,432 \cdot 10^{-3} \cdot p_{ni} \cdot \left(1 - \left(\frac{p_{ni+1}}{p_{ni}}\right)^{0,2}\right)} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{\rho}} \quad (2)$$

где  $p_{ni}, p_{ni+1}$  - давление углекислого газа на входе и срезе сопла, Па;  $v$  - скорость потока, м/с,  $\mathcal{E}$  - модуль упругости биодизельного топлива и углекислого газа, Н/м<sup>2</sup>.

Критическим является состояние потока, при котором происходит смена режимов течения, которые также называются критическими.

На рисунке 6 представлена поверхность изменения критического расхода газа в зависимости от диаметра пузырька и скорости потока.

Анализ полученных данных позволяет установить увеличение критического расхода газа с ростом диаметра пузырька по квадратичной, а с увеличением скорости потока – по линейной зависимостям. Следовательно, диаметр пузырька оказывает более существенное влияние на расход газа, чем скорость потока[1, 2].

Величина критического расхода газа по физическому смыслу является пределом, превышение которого приводит лишь к увеличению диаметра пузырька при постоянной частоте их образования.

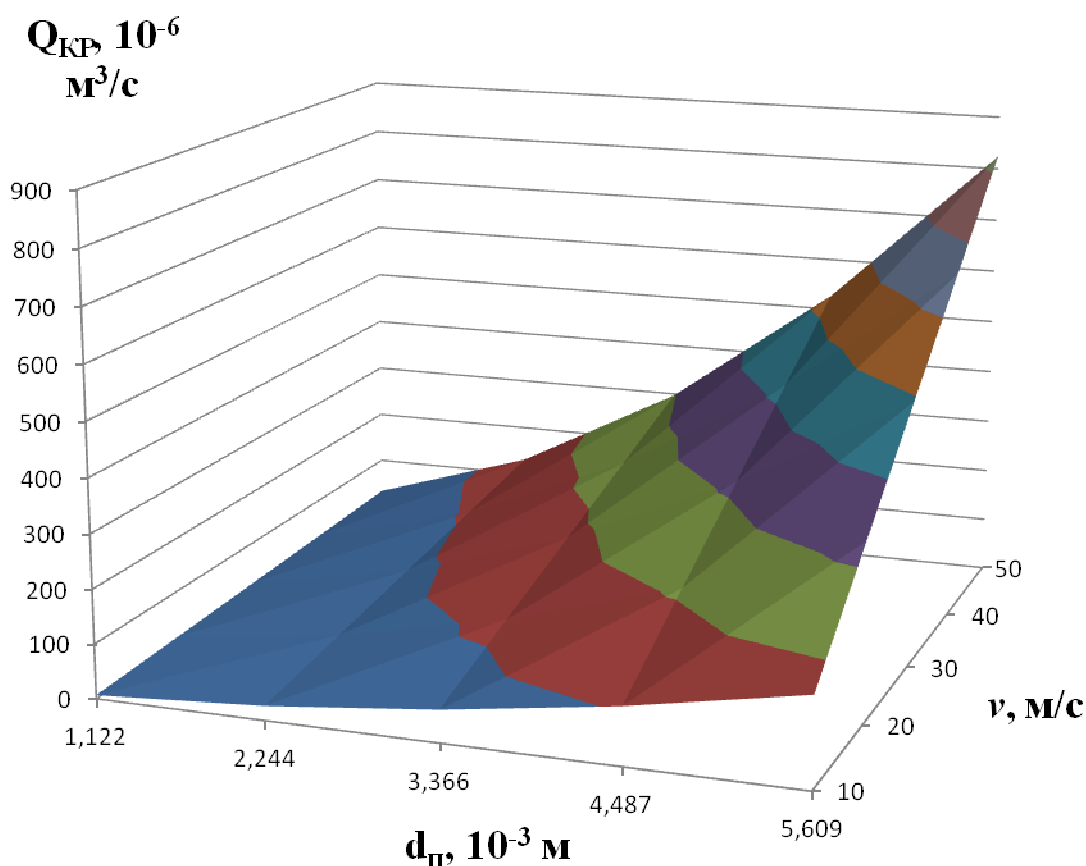


Рисунок 6 – Поверхность изменения критического расхода газа от диаметра пузырька и скорости потока

Обоснована физика процесса кавитационного воздействия углекислого газа на биодизельное топливо, результатом которого является улучшение физико-химических свойств среды за счет структуризации молекул

раствора, что положительно влияет на смешивание. В результате исследований установлена стабилизация рН среды обработанного биодизельного топлива: 8,731, при расходе углекислого газа 0,044...0,045 м<sup>3</sup>/мин и продолжительности обработки 8,04 мин., что на 14,4% меньше значения рН непромытого биодизельного топлива (10,2), что свидетельствует о эффективности процесса углекислотной промывки при производстве биодизельного топлива из растительных масел повышенной кислотности.

Получено рациональное соотношение расходов углекислого газа  $Q/Q_{кр} < 1,19$ , характеризующее статическую область образования пузырьков: увеличение частоты их образования с минимальными размерами (радиус пузырька  $R_l = 0,608$  мм). Данный расход газа обеспечивается при количестве сопел равным 14 шт.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при снижении расхода газа ниже определённого значения (например, при давлении 400 кПа и смещении иглы 1,1 мм, ниже 0,037 м<sup>3</sup>/мин.), наблюдается рост пузырьков без отрыва от отверстия. Согласно принятой классификации, данный расход газа является критическим и характеризует переход от статической области образования пузырьков газа к динамической.

Для подтверждения результатов теоретических расчетов по оптимизации параметров газожидкостной смеси проведены лабораторные испытания на установке оснащенной оборудованием для углекислотной промывки биодизельного топлива с применением микроскопа МИКРОМЕД Р-1, для вывода и сохранения на ПК изображений исследуемых объектов. Полученные изображения представлены на рисунках 7 – 9.

В биодизеле постоянно присутствуют пузырьки малого радиуса, что обусловлено максимальным расходом газа, при наименьшем проходном сечении для выхода газа. Но объемная концентрация пузырьков в опыте, представленном на рисунке 7, была наименьшая, что обусловлено возникающим эффектом схлопывания пузырьков.



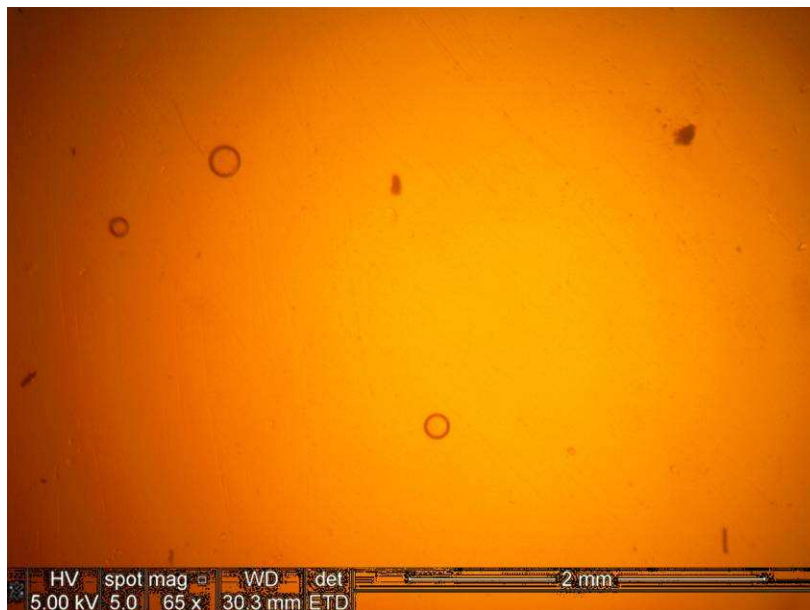


Рисунок 7 - Расход газа  $Q = 0,05572 \text{ м}^3/\text{мин}$  при смещении иглы  $d_{\text{ыз}} = 1,1$

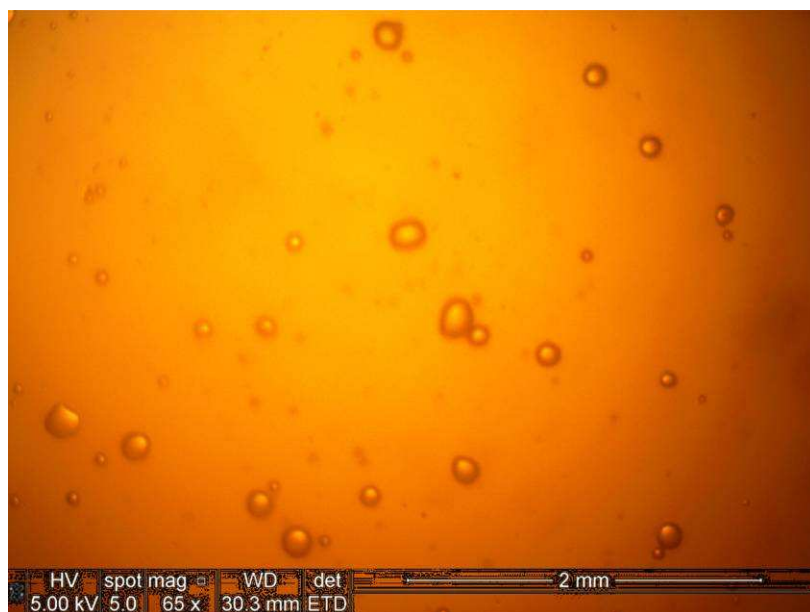


Рисунок 8 – Расход газа  $Q = 0,045 \text{ м}^3/\text{мин}$  при смещении иглы  $d_{\text{ыз}} = 1,1$

В данном случае плотность пузырьков была максимальной (четыре пузырька на  $1 \text{ мм}^2$ ); таким образом, каждый пузырек находился на расстоянии от соседнего на  $0,5 \text{ мм}$ . Установлена максимальная частота образования пузырьков и наилучшая, из представленных опытов, однородность структуры смеси жидкость – газ. Уменьшение диаметра при увеличении количества, т.е. дробление пузырьков, осуществляется под влиянием ма-

лых завихрений, поскольку поток со скоростью перемещает их без нарушения структуры. Объемная концентрация пузырьков всех размеров в опыте, представленном на рисунке 8, была небольшой, что существенно меньше приведенной на рисунке 9 максимальной величины концентрации резонансных пузырьков.

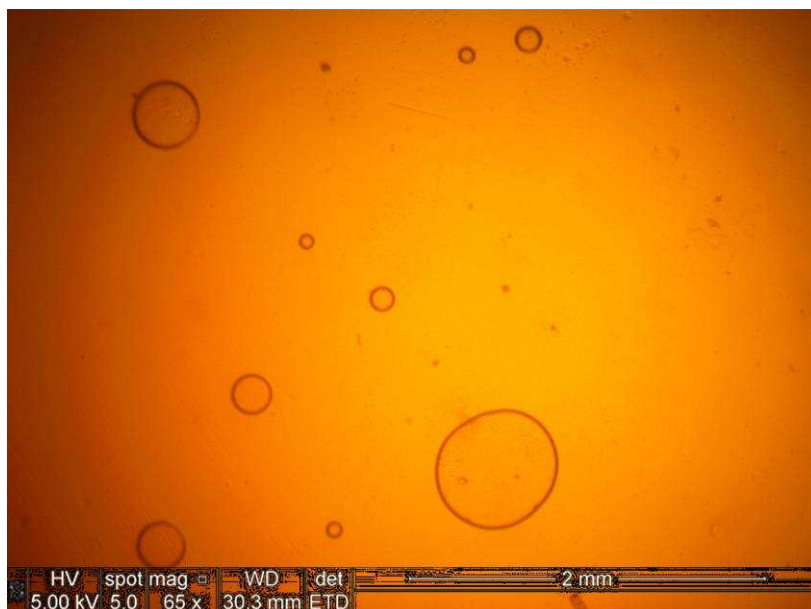


Рисунок 9 – Расход газа  $Q = 0,0094 \text{ м}^3/\text{мин}$  при смещении иглы  $d_{yz} = 1,2$

На основании расчётных данных, подтвержденных практическими испытаниями, при применении технологии производства биодизельного топлива с углекислотной промывкой оптимальным является расход углекислого газа  $Q = 0,045 \text{ м}^3/\text{мин}$ . При этом физико – химические параметры биодизельного топлива не превышают предельных норм стандарта (ГОСТ 305 – 82) на дизельное топливо. Это позволяет использовать полученное биодизельное топливо без дополнительной регулировки топливной аппаратуры дизельного двигателя.

Анализ показывает, что относительная погрешность данных, полученных при теоретическом обосновании параметров и режимов смесителя для осуществления процесса промывки биодизеля углекислым газом, составляет 3,82...5,71 %, следовательно, результаты исследования можно

считать достоверными. Помимо этого, подтверждается полученное в результате теоретических исследований соотношение расходов газа, равное 1,19 (рисунок 10), при соблюдении которого наблюдается увеличение частоты образования пузырьков с минимальными размерами. На гистограмме наглядно представлено соотношение расходов газа, прослеживается идентичность полученной закономерности как по результатам теоретических, так экспериментальных данных.

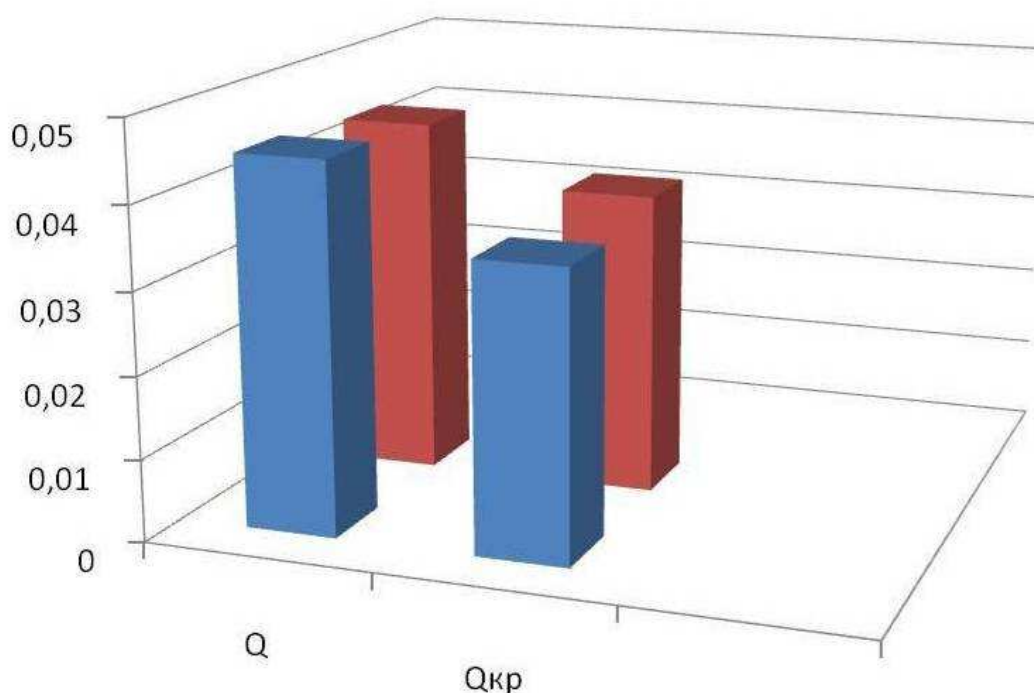


Рисунок 10 – Гистограмма изменения расхода газа

На основании проведённых исследований разработана конструкция многосоплового гидродинамического смесителя (рисунок 11), предназначенного для осуществления завершающей стадии технологии производства биодизельного топлива, заключающейся в промывке и омылении полученного при этерификации продукта углекислым газом. Многосопловое устройство формирует одновременно несколько струй, тем самым равномерно распределяя пузырьки газа в потоке. При этом на срезе сопла формируется сверхзвуковой многоструйный двухкомпонентный поток

жидкость – газ, который далее трансформируется в дозвуковой, сопровождаемый прыжком перемешивания в камере смешивания за счет возникающего противодействия.

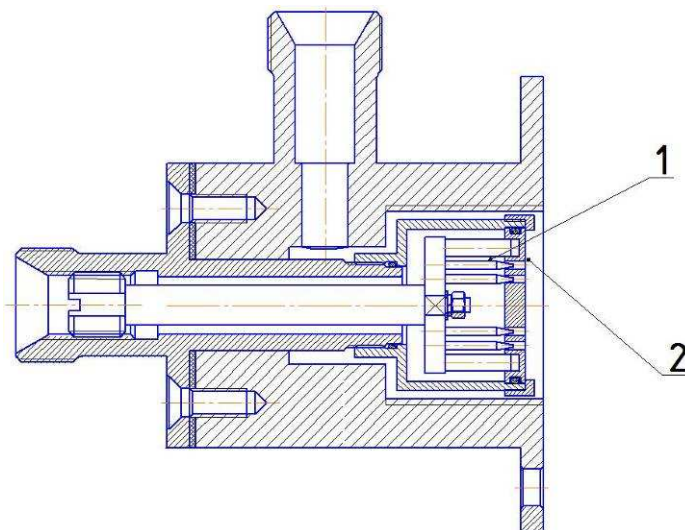


Рисунок 11 – Схема многосоплового гидродинамического смесителя: 1 – игла; 2 – сопло

Данный характер протекания процесса обеспечивает малый объемный расход эжектируемого потока (газа).

#### **Выводы:**

- При производстве биодизельного топлива из масла ятрофы повышенной кислотности промывку полученного продукта углекислым газом целесообразно осуществлять в процессе гидродинамического смешивания многосопловым устройством.
- Получены зависимости, позволяющие рассчитать рациональные параметры и режимы работы гидродинамического смесителя.
- Установлена максимальная частота образования пузырьков и наилучшая однородность структуры смеси жидкость – газ.

#### **Литература**

1. Громаков, А.В. Определение оптимального состава смесового топлива по режимам функционирования машинно-тракторных агрегатов / А.В. Громаков, Г.Г.

Пархоменко, Л.В. Громакова // Хранение и переработка зерна. – 2014. - №7(184). – с. 56 – 57.

2. Громаков А.В., Филатов С.К., Пархоменко Г.Г. Повышение эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов за счет применения биотоплива // Технология колесных и гусеничных машин. - 2014. - №6(16). - С. 16 - 22.

3. Пархоменко, Г.Г. Определение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин/Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щиров//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8.– С. 23–24.

4. Пархоменко Г.Г. Разработка комбинированных агрегатов для влагосберегающей обработки почвы с использованием теории размерностей и подобия / Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щиров // Проблемы экономичности и эксплуатации автотранспортной техники в АПК: Матер. межгосудар. научно-технич. семинара, посвященного памяти В.В. Михайлова. – Вып. 24. – 2011. – С. 73–77.

5. Пархоменко, Г.Г. Теория глубокорыхлителя: Расчёт взаимодействия рабочих органов с почвой. / Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щиров: Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013– 88 с.

6. Щиров, В.Н. Априорное определение тягового сопротивления глубокорыхлителя методами теории размерностей и подобия / В.Н. Щиров, Г.Г. Пархоменко // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – №1(21). – с. 28 – 37.

7. Хоанг, Нгия Дат Параметры и режимы функционирования гидродинамического смесителя в среде жидкость - газ при производстве биодизельного топлива из масла яatroфы / Хоанг Нгия Дат, Г.Г. Пархоменко, В.И. Пахомов, В.Б. Рыков, С.И. Бырько, И.В. Божко // Сельскохозяйственные машины и технологии. -2015. - № 3.

## References

1. Gromakov, A.V. Opredelenie optimal'nogo sostava smesevogo topliva po rezhimam funktsionirovaniya mashinno-traktornykh agregatov / A.V. Gromakov, G.G. Parkhomenko, L.V. Gromakova // Khranenie i pererabotka zerna. – 2014. – No 7(184). – S. 56 – 57.

2. Gromakov, A.V. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya mashinno-traktornykh agregatov za schet primeneniya biotopliva / A.V. Gromakov, S.K. Filatov, G.G. Parkhomenko // Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. – 2014. – No 6(16). – S. 16 – 22.

3. Parhomenko, G.G. Opredelenie t'jagovogo soprotivlenija pochvoobrabatyvajushhih mashin/G.G. Parhomenko, V.N. Shhirov//Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hoz'jajstva. – 2011. – №8.– S. 23–24.

4. Parhomenko G.G. Razrabotka kombinirovannyh agregatov dlja vlagosberegajushhej obrabotki pochvy s ispol'zovaniem teorii razmernostej i podobija / G.G. Parhomenko, V.N. Shhirov // Problemy jekonomichnosti i jekspluatacii avtotransportnoj tehniki v APK: Mater. mezhgosudar. nauchno-tehnich. seminar, posvjashhennogo pamjati V.V. Mihajlova. – Vyp. 24. – 2011. – S. 73–77.

5. Parhomenko, G.G. Teorija glubokoryhlytelja: Raschjot vzaimodejstvija rabochih organov s pochvoj. / G.G. Parhomenko, V.N. Shhirov: Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013– 88 s.

6. Shhirov, V.N. Apriornoe opredelenie t'jagovogo soprotivlenija glubokoryhlytelja metodami teorii razmernostej i podobija / V.N. Shhirov, G.G. Parhomenko // Vestnik agrarnoj nauki Dona. – 2013. – №1(21). – s. 28 – 37.

7. Hoang, Ngia Dat Parametry i rezhimy funkcionirovaniya gidrodinami-cheskogo smesitelja v srede zhidkost' - gaz pri proizvodstve biodizel'nogo topliva iz masla jatroyfy /

Hoang Ngia Dat, G.G. Parhomenko, V.I. Pahomov, V.B. Rykov, S.I. Byr'ko, I.V. Bozhko // Sel'skhozjajstvennyye mashiny i tehnologii. -2015. - № 3.