

УДК 537.528+537.523

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.2.4

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ДВИГАТЕЛЯ, НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

© Э. Р. Абдеев, А. А. Рукомойников*, Ю. В. Михайлов

Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

Тел.: +7 (917) 788 77 24.

*Email: alex@bgutmo.ru

Целью исследования является создание электрогидравлического лопастного двигателя (ЭГЛД). Разработанная конструкция двигателя представляет емкость закрытого типа с жидкостью, внутри которой расположены в статике лопастные элементы с токопроводящим покрытием. В динамике, соосно статичному корпусу, расположен ротор, состоящий из лопастей с токопроводящим покрытием аналогично статору. Покрытие лопастей соединено с электрической схемой для воспроизведения высоковольтных разрядов.

Для реализации опыта создана численная модель в 2D симуляторе физических воздействий Algodoo. Также создан макет двигателя и опробован на практике. В обоих случаях работоспособность конструкции подтвердилась. В дальнейших работах планируется более подробно изучить входные и выходные характеристики двигателя, достоинства и недостатки данной конструкции, а также рассмотреть возможные области применения.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, электрогидравлический двигатель, высоковольтный разряд, сверхвысокое давление в жидкости.

Введение

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) – способ преобразования электрической энергии в механическую, совершающийся без посредства промежуточных механических звеньев, с высоким КПД. Сущность этого способа состоит в том, что при осуществлении внутри объема жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, специально сформированного импульсного электрического (искрового, кистевого и других форм) разряда вокруг зоны его образования возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений [1–2].

Для электрогидравлического эффекта характерен режим выделения энергии на активном сопротивлении контура, близком к критическому, т.е. когда

$$1/C < R^2/4L,$$

где C – емкость конденсатора, R и L – активное сопротивление и индуктивность контура. Отсюда следует, что основными факторами, определяющими возникновение электрогидравлического эффекта, являются амплитуда, крутизна фронта, форма и длительность электрического импульса тока. Длительность импульса тока измеряется в микросекундах, поэтому мгновенная мощность импульса тока может достигать сотен тысяч киловатт. Крутизна фронта импульса тока определяет скорость расширения канала разряда. При подаче напряжения на разрядные электроды в несколько десятков киловольт амплитуда тока в импульсе

достигает десятков тысяч ампер. Все это обуславливает резкое и значительное возрастание давления в жидкости, вызывающее в свою очередь мощное механическое действие разряда. Осуществление электрогидравлического эффекта связано с относительно медленным накоплением энергии в источнике питания и практическое мгновенным ее выделением в жидкой среде [3].

Разработка конструкции двигателя

Разрабатываемый лопастной двигатель на основе электрогидравлического эффекта (ЭГЛД) преобразует электрическую энергию в механическую.

ЭГЛД состоит из цилиндрического корпуса, к внутренней поверхности которого прикреплены на одинаковом расстоянии лопасти, имеющие форму эвольвенты. По центру корпуса установлен цилиндрический ротор, к наружной поверхности которого прикреплены лопасти такой же формы и количества. Лопасти ротора и корпуса образованы от одной и той же эвольвенты и скопированы радиально по оси корпуса и ротора. Между лопастями ротора и корпуса существует минимальный зазор, обеспечивающий свободное вращение ротора в корпусе. Синие и красные части лопастей являются токопроводящими. Синие и красные части лопастей имеют различный электрический заряд между собой и общий электрический заряд с ротором и корпусом, соответственно, т.к. соединены с ними. Корпус изобретения заполнен водой, таким образом, что лопасти ротора и корпуса полностью погружены в нее.

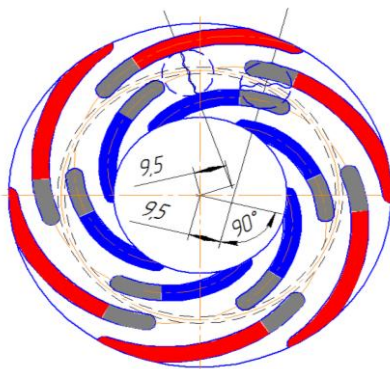


Рис. 1. Схема конструкции ЭГЛД.

Возникающий между внутренними и наружными элементами крыльчатки двигателя электрический разряд в воде приводит в движение лопасти ротора, передающие крутящий момент ротору, на который они закреплены. Вращательный момент возникает при электрическом разряде в воде между какими-либо синей и красной лопастями. На *рис. 1* обозначены крайние места возникновения электрического разряда при максимальном расстоянии между токопроводящими частями лопастей, откуда видно, что при возникновении электрического разряда по всей возможной длине лопасти между ней и ротором, в месте приложения разряда, всегда есть рычаг, обозначенный числом 9,5 мм, являющийся отношением длины рычага к диаметру ротора и зависящий от угла образования эвольвенты и диаметра ротора. Таким образом, разность давлений при электрическом разряде приводит к возникновению крутящего момента ротора относительно корпуса. При вращении ротора будет меняться расстояние между токопроводящими частями лопастей, что меняет сопротивление цепи, обеспечивая тем самым наличие электрического разряда при разбросе напряжения источника.

Создание численной модели

Для симуляции работы ЭГЛД, создана численная модель в 2D симуляторе физических воздействий Algodoo [4], показанная на *рис. 2*.

Корпус, ротор и лопасти перенесены как плоские сплошные не разрушаемые стальные объекты. Корпус и его лопасти жестко закреплены к сцене, как показано на *рис. 2 б*, а ротор посажен на подшипник без трения.

Токопроводящие части лопастей созданы путем разделения лопастей на части и жесткого соединения между собой, таким образом, чтобы для разных их частей можно было задавать разные свойства. Эти соединения обозначены черными кругами. В качестве воды использована совокупность твердых относительно (других элементов сцены) малых окружностей, соударяющихся между собой без потерь. Свойства элементов модели сведены в *табл. 1*.

Электрический пробой в воде эмитируется направленным движением частиц воды от токопроводящих частей лопастей, примерно, т.к. происходит с заряженными частицами в электрическом токе. Достигается подобное движение частиц воды путем задания токопроводящим частям лопастей следующих отличительных свойств:

1. Бесконечная вязкость. Обеспечивает потерю направления движения частиц воды при соударении. То есть отталкивание от этих частей лопастей происходит всегда под прямым углом.

2. Удвоение кинетической энергии. Обеспечивает эффект ускорения частиц при электрическом пробое. То есть при соударении частиц воды с этими частями лопастей частица воды ускоряется.

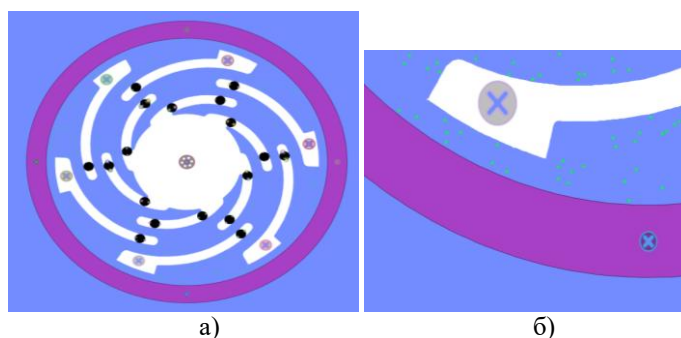


Рис. 2. Модель в Algodoo: а – общий вид; б – жесткое закрепление корпуса и его лопастей к сцене.

Таблица 1

Свойства элементов численной модели в Algodoo

Наименование	Density (плотность), kg/m ²	Mass (масса), kg	Friction (трение)	Restitution (восстановление)	Attraction (притяжение) Nm ² /kg ²
Элементы воды	2.0	-	0	1.0	0
Середина ротора	2.0	20.4545	0	0	0
Токопроводящая часть лопастей ротора	2.0	1.10686	∞	10.0	0
Диэлектрическая часть лопастей ротора	2.0	0.26209	∞	0	0
Токопроводящая часть лопастей корпуса	2.0	2.99974	∞	1.0	0
Диэлектрическая часть лопастей корпуса	2.0	0.340493	∞	0	0

Демонстрация полученного эффекта показана в видеоролике [5] и на *рис. 3*.

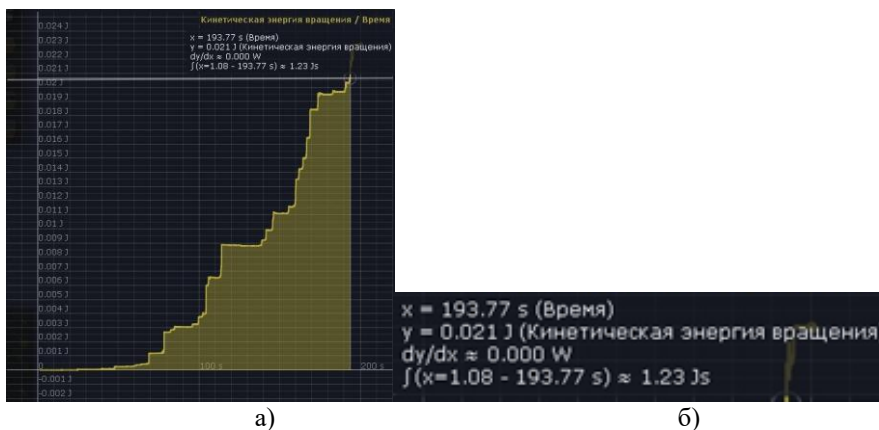


Рис. 3. Зависимость кинетической энергии вращения от времени в численной модели в Algodoo: а – общий вид; б – значение в точке $x = 193,77$ сек

Сборка экспериментального образца

Для сборки экспериментального образца конструкция двигателя была упрощена исходя из условий достаточности по функционалу и ограничений, связанных с технологией изготовления и первичного испытания. Корпус конструкции состоит из 2-х частей стакана и крышки. На дне стакана выполнен паз для установки нижнего подшипника таким образом, чтобы вал ротора упирался в него. Такая установка нижнего подшипника упрощает сборку и испытание двигателя. Лопасти корпуса стали монолитной внутренней поверхностью стакана. Крышка корпуса крепится сверху стакана на клей.

В верхней части крышки выполнен паз для установки верхнего подшипника. Электрические контакты лопастей корпуса выводятся в месте сопряжения стакана и крышки. Электрические контакты лопастей ротора подводятся к верхнему подшипнику. Все детали кроме подшипников выполнены из диэлектрических материалов. Токопроводящие части лопастей выполнены путем нанесения на части лопастей алюминиевой липкой ленты и соединены с соответствующими контактами для подведения статического электричества. На *рис. 4* показана 3D модель конструкции двигателя в разрезе.

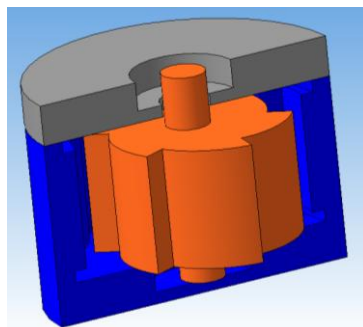


Рис. 4. 3D модель конструкции ЭГЛД в разрезе.

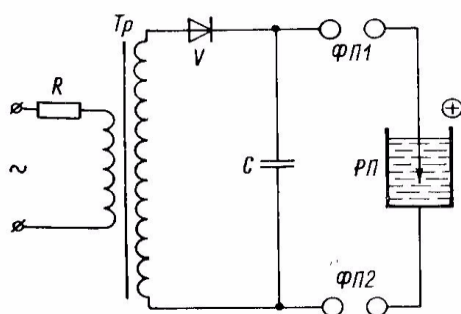


Рис. 5. Схема для демонстрации электрогидравлического эффекта [6].

Для изготовления твердотельной модели ЭГЛД были использованы следующие материалы и оборудование:

- подшипники СМА 6203-ZZ (17x40x12мм) SKL;
- 3D-принтер Anet A2 Black 2004LCD;
- PLA пластик - для изготовления базовых деталей ЭГЛД;
- алюминиевая липкая лента - в качестве токопроводящего покрытия.

В электрической схеме (рис. 5) для получения электрогидравлического эффекта используются 2 воздушных разрядника ФП1, ФП2 и один водный РП. Водный разрядник не разрывает цепь, так как заполняемая среда вода является электрическим проводником. Параметры необходимого электрического тока, заряжающего конденсатор, регулируются воздушными разрядниками, не являющимися частью экспериментального образца двигателя, который должен располагаться в цепи на месте позиции обозначенной РП. Таким образом, зазор

между токопроводящими лопастями ЭГЛД не влияет на параметры разряжаемого на него электрического заряда и потребляемого электрической схемой электрического тока. Зазор между токопроводящими лопастями ЭГЛД влияет на форму, длину и другие параметры, однако, на сегодняшний день исследование Л. А. Юткина не завершено и необходимые параметры водного пробоя исследователи определяют опытным путем, исходя из потребностей решаемой задачи.

Внешний вид изготовленных на 3D-принтере деталей двигателя представлен на рис. 6.

Зазор между дном корпуса и лопастями корпуса был залит стержнем термоклея. В паз и дна корпуса и крышки корпуса (рис. 6 а, б) были установлены подшипники. Подшипники прогревались до температуры плавления пластика деталей двигателя при помощи газовой горелки.

На рис. 7 показан процесс сборки и нанесения токопроводящей поверхности на заданные участки лопастей корпуса и ротора.

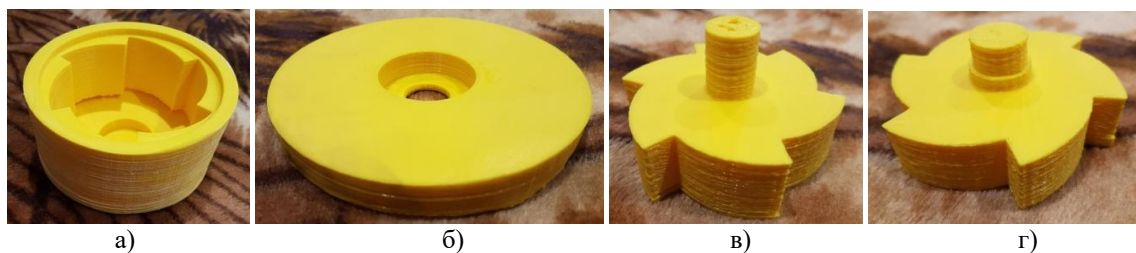


Рис. 6. Внешний вид деталей двигателя: а – корпус; б – крышка корпуса; в – верхняя часть ротора; г – нижняя часть ротора.

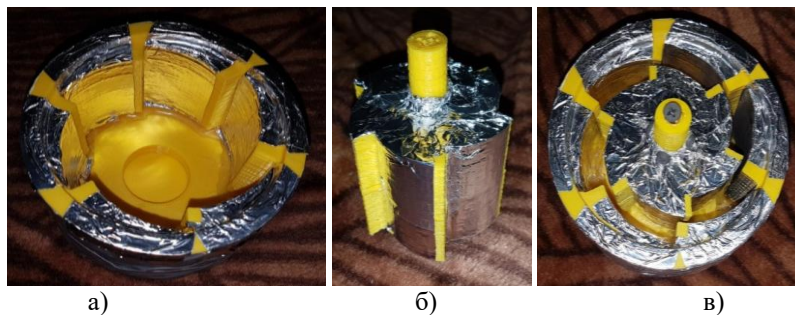


Рис. 7. Нанесение токопроводящей поверхности: а – на лопасти корпуса; б – на лопасти ротора; в – установка ротора в корпус.

Таблица 2

Рекомендованные показатели ЭГВ для реализации опыта

Показатель	Единицы	Min	Max
Зазор в электродах	мм	0.02	1.5
Напряжение (U)	кВт	30	
Емкостиконденсаторов	мкФ	4	
Время ЭГЭ воздействий (t)	сек.	17	29
Вода	грамм	75	110
Растительное масло	грамм	270	320
Температура	С°	5	26

Таблица 3

Зависимость количества разрядов от времени

№ Разряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время между разрядами, сек	19	23	25	24	22	17	29	22	26	20

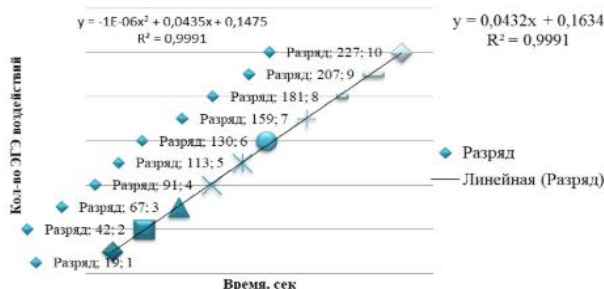


Рис. 8. Схема зависимости количества разрядов от времени.

Результаты и их обсуждение

Для реализации опыта проведена работа в 2D симуляторе физических воздействий Algodoo и проверена работоспособность предполагаемой конструкции двигателя. Также создан макет двигателя и опробован на практике. В обоих случаях работоспособность конструкции подтвердилась.

Авторами проведены серии экспериментов по определению показателей электрогидравлических воздействий (ЭГВ) для реализации опыта (табл. 2–3) [7].

Полученная регрессионная зависимость имеет вид:

$$y = 0.0432x + 0.1634,$$

при этом коэффициент корреляции высокий $R^2 = 0.9991$.

Выводы

Таким образом, разработанная конструкция лопастного двигателя на основе электрогидравлического эффекта была проверена на работоспособность с помощью созданной численной модели в 2D симуляторе физических воздействий Algodoo и путем сборки экспериментального образца. В обоих случаях работоспособность конструкции под-

твердилась. В дальнейших работах планируется более подробно изучить входные и выходные характеристики двигателя, достоинства и недостатки данной конструкции, а также рассмотреть возможные области применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. М., Л.: Машгиз, 1955. 52 с;
2. А. с. 105011 (СССР). Способ получения высоких и сверхвысоких давлений / Л. А. Юткин, Л. И. Гольцова. Заявл 150450. №416898. Оpubл. в Б. И., 1957. №1.
3. А. с. 121053 (СССР). Способ поверхностного воздействия на материалы / Л. А. Юткин, Л. И. Гольцова. Заявл 220351, №605989/25. Оpubл. в Б. И., 1964. №18.
4. Algodoo. URL: <http://www.algodoo.com/download/> (дата обращения: 25.12.2018).
5. Численная модель работы двигателя, использующего эффект Юткина. YouTube. URL: https://youtu.be/73IzM_evT8E (дата обращения: 14.01.2019).
6. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1986. 253 с.
7. Рукомойников А. А., Абдеев Э. Р., Абдеев Р. Г. Регрессионная зависимость электрогидравлических воздействий по методу Юткина // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых ученых: мат-лы Междунар. научно-практ. конф. 2019. С. 536–539.

Поступила в редакцию 27.04.2020 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.2.4

**DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL ENGINE SAMPLE
BASED ON THE ELECTROHYDRAULIC EFFECT**

© E. R. Abdeev, A. A. Rukomoynikov*, Yu. V. Mikhailov

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.**Phone: +7 (917) 788 77 24.***Email: alex@bgutmo.ru*

This work originates from possibility of converting electrical energy into mechanical energy, namely, creation of so-called electro-hydraulic vane engine (EHVE) based on the electro-hydraulic Yutkin effect. The simplest way to implement this process is using low-inductance high-voltage energy storage devices with a small capacity: a high voltage provides the required amount of energy, and a small inductance and capacitance of the electrical circuit – a quick input of energy into the discharge gap. After examining the patent review, no alleged EHVE device was found. However, it became known that scientists in Russia and the USA are interested in the issue. The object of the study is the design of the engine, which is a container with a closed-type liquid, inside of which statically vane elements with a conductive coating are located. A rotor consisting of blades with a conductive coating similar to the stator is located within the container coaxial to the static casing. The blade coating is connected to electrical circuit for reproducing high voltage electric current discharges. To implement the experiment, a numerical model was created in the Algodoo 2D simulator of physical effects and the operability of the proposed engine design was verified. An engine layout was also created and tested in practice. In both cases, operability of the design was confirmed. In further works, it is planned to study in more detail the input and output characteristics of the engine, the advantages and disadvantages of this design and also to consider its possible applications.

Keywords: electro-hydraulic effect, electro-hydraulic engine, high voltage discharge, ultrahigh pressure in the liquid.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Yutkin L. A. Elektrogidravlicheskiy effekt [Electro-hydraulic effect]. M., Leningrad: Mashgiz, 1955. 52 s;
2. A. s. 105011 (SSSR). Sposob polucheniya vysokikh i sverkhvysokikh davlenii. L. A. Yutkin, L. I. Gol'tsova. Zayavl 150450. No. 416898. Opubl. v B. I., 1957. No. 1.
3. A. s. 121053 (SSSR). Sposob poverkhnostnogo vozdeistviya na materialy. L. A. Yutkin, L. I. Gol'tsova. Zayavl 220351, No. 605989/25. Opubl. v B. I., 1964. No. 18.
4. Algodoo. URL: <http://www.algodoo.com/download/> (data obrashcheniya: 25.12.2018).
5. Chislennaya model' raboty dvigatelya, ispol'zuyushchego effekt Yutkina. YouTube. URL: https://youtu.be/73IzM_evT8E (data obrashcheniya: 14.01.2019).
6. Yutkin L. A. Elektrogidravlicheskiy effekt i ego primenenie v promyshlennosti [Electro-hydraulic effect and its application in industry]. Leningrad: Mashinostroenie, Leningr. otd-e, 1986.
7. Rukomoinikov A. A., Abdeev E. R., Abdeev R. G. Aktual'nye problemy sovremennoi nauki: vzglyad molodykh uchenykh: mat-ly Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. 2019. Pp. 536–539.

Received 27.04.2020.