

## ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ОБЛАСТИ КАВИТАЦИИ (ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА РАЗМЕРНОСТЕЙ)

Е.В. Чеснокова\*, А.М. Калякин\*\*, Н.И. Король\*\*\*

\*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Россия, Саратов, [adamas.elena@gmail.com](mailto:adamas.elena@gmail.com)

\*\*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Россия, Саратов, [elevadim@gmail.com](mailto:elevadim@gmail.com)

\*\*\*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Россия, Саратов, [nataliya.korol.2013@mail.ru](mailto:nataliya.korol.2013@mail.ru)

*Аннотация.* Данная статья посвящена рассмотрению планируемого эксперимента, в котором обеззараживание воды происходит в области потока, в который накладываются воздействия от электрогидравлического эффекта и это воздействие происходит в области кавитации. Рассмотрены особенности электрогидравлического эффекта в жидкости. Предложено выражение для градиента давления, возникающего в результате электрогидравлического эффекта. Выражение для градиента давления получено методом анализа размерностей.

*Ключевые слова:* обеззараживание, ударная волна, электрогидравлический эффект, градиент давления, метод анализа размерностей.

## ELECTROHYDRAULIC EFFECT OF CAVITATION (APPLICATION OF METHOD DIMENSIONAL ANALYSIS)

E.V. Chesnokova\*, A.M. Kalyakin\*\*, N.I. Korol\*\*\*

\*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,  
Saratov, Russia, [adamas.elena@gmail.com](mailto:adamas.elena@gmail.com)

\*\*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,  
Saratov, Russia, [elevadim@gmail.com](mailto:elevadim@gmail.com)

\*\*\*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,  
Saratov, Russia, [nataliya.korol.2013@mail.ru](mailto:nataliya.korol.2013@mail.ru)

*Annotation.* This article is devoted to the planned experiment in which water disinfection occurs in the stream, which are imposed impact on the electrohydraulic effect and this effect occurs in cavitation. Reviewed the features of electrohydraulic effect in the liquid. Proposed expression for the pressure gradient resulting from the electrohydraulic effect. The expression for the pressure gradient is obtained by dimensional analysis.

*Keywords:* disinfection, the shock wave, electrohydraulic effect, the pressure gradient, the method of dimensional analysis.

Безреагентное обеззараживание воды каким-либо физическим воздействием всегда считалось прогрессивным методом. Авторами данной работы предполагается применить в качестве основного физического воздействия электрогидродинамический эффект, изложенный в авторской монографии [1]. Некоторые параметры этого явления рассматривались авторами настоящей работы в [2,3,4]. Данная статья посвящена рассмотрению планируемого эксперимента, в котором обеззараживание воды происходит в области потока, в который накладываются воздействия от электрогидродинамического эффекта и это воздействие происходит в области кавитации. Обеззараживанию воды с помощью кавитационного воздействия посвящено весьма значительное число работ, например [5,6] и поэтому не останавливаемся на физике этого воздействия.

Очень кратко рассмотрим особенности электрогидравлического эффекта в жидкости. Следует, видимо, признать, что даже при наших незначительных знаниях об электрогидравлическом эффекте, в результате разряда образуется сферическая ударная волна; очевидно, что она чрезвычайно быстро повышает давление и плотность на своей границе. Возможно, как и в газе она создает поток вещества, который следует за ней. В процессе того, как сферическая ударная волна охватывает все боль-

шие объемы вещества, она затухает, превращаясь в звуковую волну. Это затухание происходит очень быстро вблизи разрядного промежутка и почти прекращается, когда волна переходит в звуковой импульс.

В [7] сообщается, что «расстояние ослабления ударной волны до звуковой в воде – около двух диаметров». За диаметр возможно принять длину искрового промежутка. Так как очевидно, что длина искрового промежутка (пробоя) зависит от напряжения, то от напряжения будет зависеть и расстояние распространения ударных волн.

Неизвестно, как влияет на величину длины пробойного промежутка нахождение его в кавитационной области; так как эта зона заполнена пузырьками пара, то возможно, что эта длина пробоя увеличивается.

По нашим предположениям в области кавитации уменьшается модуль упругости жидкости из-за существования кавитационных пузырьков с паром.

По нашим предположениям живые микроорганизмы гибнут под действием очень большого градиента давления в ударной (а затем и в звуковой) волне.

Так как главным параметром воздействия на микроорганизмы является давление, то необходимо найти или его или его производную  $dp'/dl$ .

Давление  $p'$  является в данном случае функцией двух переменных – расстояния  $l$  и времени  $t$ , причем эти переменные не зависят друг от друга.

Предположительно, возможно такое выражение для давления  $p'$

$$p' = p(l)p''(t).$$

Ниже изложено возможное применение метода анализа размерностей для поиска функции  $p(l)$ . В число аргументов помимо расстояния  $l$  должны входить параметры разряда – или энергия, запасенная конденсатором или мощность разряда. И тот и другой параметр имеет свои недостатки – в частности энергия  $E$  конденсатора запасена и конденсатор может разрядиться медленно, а время разряда, которое неизвестно, влияет на величину мощности  $N$ , которая также явно неизвестна.

В число аргументов должна входить характеристика жидкости, например, модуль упругости  $M$ , в крайнем случае плотность ее  $\rho$ .

Так как по нашему предположению на бактерии действует градиент давления – т.е. на очень малом расстоянии вследствие прохождения ударной волны существует значительная разность давлений, то и необходимо найти величину  $dp'/dl$ .

В результате применения метода анализа размерностей выяснилось, что включение в выражение  $dp'/dl$  энергии конденсатора  $E$  или мощности разряда  $N$  сам метод сделать не позволяет, то есть невозможно существование функций (одночленных) вида

$$\frac{dp}{dl} = f(M, E, l)$$

и

$$\frac{dp}{dl} = f(M, N, l)$$

и пока причину этого указать невозможно.

Поэтому было решено эту задачу представить как два независимых действия:

1. Вначале определить давление в зависимости от расстояния (после разряда).

2. Затем, взяв найденную зависимость за основу, найти величину  $\frac{dp}{dl}$ .

В [2] дано решение для значения  $p_l$  и в данной работе повторим его несколько обобщив.

Если искомую зависимость представить в виде

$$p = f(M, E, l, \dots), \quad (1)$$

то сам метод анализа размерностей укажет, что такая зависимость не может быть получена – это происходит потому, что и в левой и в правой частях (1) присутствуют величины одинаковой размерности – это  $p$  и  $M$ , на это указано в работе [8]. Это свойство распространяется на любые степени  $p$  и  $M$ , как положительные, так и отрицательные.

Метод анализа размерностей также указывает на тот факт, что невозможно существование одночленного равенства

$$p = f(N, \rho) \quad (2)$$

где  $N$  – мощность разряда,  $\rho$  – плотность жидкости.

Было подвергнуто анализу общее функциональное соотношение вида

$$p = f(N, \rho, l) \quad (3)$$

где  $l$  – расстояние от искрового промежутка до точки, где давление равно  $p$ .

В результате применения метода анализа размерностей была получена зависимость (3) в виде

$$p = C \cdot N^{2/3} \cdot \rho^{1/3} \cdot l^{-4/3} \quad (4)$$

или

$$p = C \cdot \sqrt[3]{\frac{N^2 \rho}{l^4}}. \quad (5)$$

Имея зависимость (4), выражение для  $\frac{dp}{dl}$  возможно получить путем дифференцирования.

В результате имеем

$$\frac{dp}{dl} = -\frac{4}{3} C l^{-7/3} \cdot N^{2/3} \cdot \rho^{1/3}, \quad (6)$$

где знак (-) указывает на то, что с увеличением длины давление уменьшается.

Зависимость (6) получена без учета границ потока и условий на них – имеется в виду, что величина промежутка разряда много меньше области, границы которой не учитываются. Если необходимо учесть границы и условия, в которых происходит течение жидкости, то постоянный и неизвестный коэффициент  $C$  в (6) возможно определить следующим образом. Очевидно, что на некотором расстоянии  $l_0$  затухают не только ударные волны, но и возникшие из них звуковые волны (возмущения) и начиная с этого значения  $l_0$  давление становится близким к тому, каким бы оно было без ЭГЭ.

Из (5) имеем

$$p_0 = k = C^3 \sqrt{N^2 \rho} \cdot \frac{1}{l_0^2} \quad (7)$$

Откуда следует

$$C = \frac{p_0 l_0^2}{\sqrt[3]{N^2 \rho}} \quad (8)$$

Оптимальный результат получается подстановкой (8) в (6).

Из (6) также следует, что давление уменьшается в несколько большей степени, чем квадрат расстояния от радиуса.

Если кавитация в области распространения ударной волны отсутствует, то можно принять  $\rho = const$ ; если же кавитационная область существует, то  $\rho$  несколько уменьшается и градиент давления уменьшается также.

Вывод. Методом анализа размерностей получено выражение для градиента давления, возникающего в результате электрогидравлического эффекта.

### Библиографический список

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект, 1955. Ленинград: Машгиз. 50 с.
2. Чеснокова Е.В., Калякин А.М. Применение метода анализа размерностей к изучению электрогидравлического эффекта // Вопросы электротехнологии. 2014. № 3 (4). С. 46-47.
3. Калякин А.М., Чеснокова Е.В. Определение диаметра канала разряда в жидкости при электрогидравлическом эффекте // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Мичуринск, 10-12 нояб. 2014 г. / МичГАУ. - Мичуринск, 2014. С. 327-328.
4. Калякин А.М., Чеснокова Е.В. Экспериментальное изучение совместного воздействия на воду кавитации и электрогидравлического разряда // Современные материалы, техника и технология : материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф., г. Курск, 25-26 дек. 2014 г. / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. С. 227-229.
5. Установка для механического обеззараживания воды и расчет кавитационного генератора / Г.А. Илясов [и др.] // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений: межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1994. - С. 80-92
6. Кавитационный генератор новой конструкции и его расчет / Г.А. Илясов [и др.] // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений: межвуз. науч. сб. / СГТУ. Саратов, 2003. С. 119-127.
7. Гласс И.И. Ударные волны и человек. М.: Мир, 1977, 192 с.
8. Калякин А.М., Чеснокова Е.В. Дополнение к методу анализа размерностей в задачах гидравлики // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2. С. 41-47.