

УДК 66.083.2

Количественная оценка давления на поверхность брикета замороженной рыбы при импульсном высоковольтном разряде

канд. техн. наук Антуфьев В.Т. antufjew2010@yandex.ru

Бычихин О.В. allegator84@mail.ru

д-р техн. наук Вороненко Б.А. voronenkoboris@ya.ru

д-р техн. наук Пеленко В.В. pro1@gunipt.spb.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Разработана математическая модель разрушения замороженного брикета рыбы импульсным, высоковольтным разрядом для количественной оценки давления на нижнюю поверхность брикета рыбы.

Ключевые слова: давление на поверхность брикета, импульсный разряд.

Quantitative estimation of the surface pressure of the briquette frozen fish during pulsed high-voltage discharge

Ph.D. Antufev V.T., Bychihin O.V.

D.Sc. Voronenko B.A. D.Sc. Pelenko V.V.

*Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.
Institute of Refrigeration and Biotechnology
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

The mathematical model of the destruction of frozen briquette fish pulsed, high-voltage discharge for a quantitative evaluation of pressure on the lower surface of the briquette fish.

Keywords: surface pressure briquette, pulse discharge.

Компоновка технологической установки для разрушения брикетов замороженной рыбы с использованием электрогидравлического удара предусматривает размещение источника возбуждаемых колебаний от поверхности размораживаемого брикета на расстояние, соизмеримое с длиной самого источника колебаний [1]. Это позволяет в

Антуфьев В.Т. и др. Количественная оценка давления на поверхность брикета замороженной рыбы при импульсном высоковольтном разряде/ В.Т. Антуфьев, О.В. Бычихин, Б.А. Вороненко, В.В. Пеленко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2013. - №2. [Электронный ресурс]: <http://www.processes.ihbt.ifmo.ru>

первом приближении считать рассматриваемую задачу распространения колебаний одномерной, предполагая, что вне зоны, ограниченной вертикалями a и b , влияние электрогидравлического удара ничтожно мало (рис. 1)

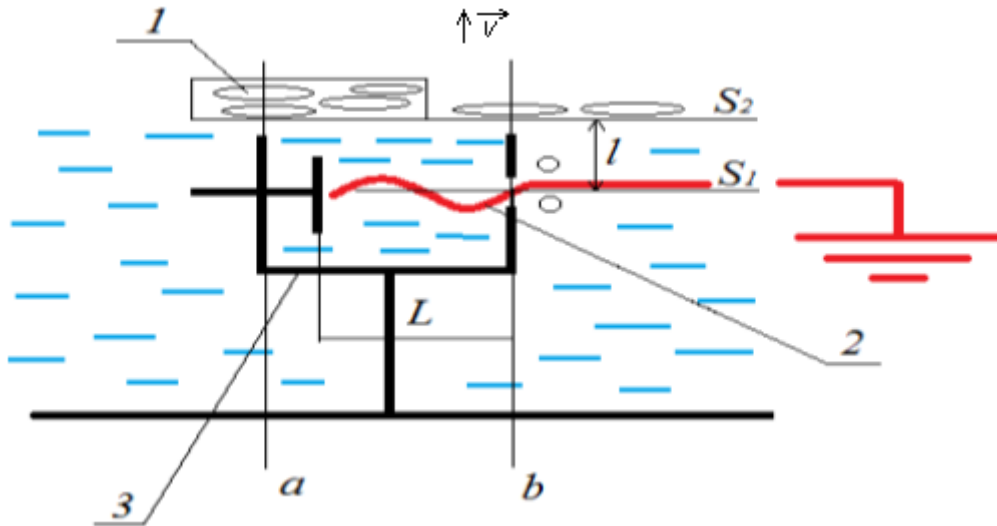


Рис.1. Схема зоны электрогидравлического воздействия на брикет замороженной рыбы
1 – брикет замороженной рыбы, 2 – взрывающаяся проволочка, 3 – цилиндрическая разрядная камера

В соответствии с теоремой об изменении количества движения (импульса) [2,3]:

$$P_1 + \rho_1 V_1^2 = P_2 + \rho_2 V_2^2, \quad (1)$$

где P_1, P_2 – давление на плоскостях S_1 и S_2 , Па;

ρ_1, ρ_2 – плотность жидкости в сечениях S_1 и S_2 , кг/м³;

V_1, V_2 – скорость движения жидкости через сечения S_1 и S_2 , м/с.

Уравнение неразрывности при этом запишется в виде:

$$S_1 \rho_1 V_1 = S_2 \rho_2 V_2, \quad (2)$$

где $S_1 = S_2 = S$ – площадь сечения, м².

Используя (2), можно привести соотношение (1) к виду:

$$V_2^2 - V_1^2 = (P_1 - P_2)(1/\rho_1 + 1/\rho_2) \quad (3)$$

Поскольку скачок уплотнения при электрогидравлическом ударе сопровождается образованием парогазовой смеси, предположим дополнительно, что среда в рассматриваемом выделенном объеме отвечает условиям адиабатного расширения, то есть выполняется условие

$$\frac{k}{k-1} \cdot \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = const \quad (4)$$

где k – показатель адиабаты.

В этом случае соотношение (3) преобразуется к виду

$$V_2^2 - V_1^2 = \frac{2k}{k-1} \cdot \left(\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2} \right) \quad (5)$$

Совместное решение уравнений (3) и (5) позволяет записать [2-4]

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{(k+1)\rho_2 - (k-1)\rho_1}{(k+1)\rho_1 - (k-1)\rho_2} \quad (\text{уравнение Гюгионо}) \quad (6)$$

Нахождение давления P_2 может быть обеспечено уточнением процесса, происходящего в плоскости S_1 инициирования волны, за счет учета ускорения расширения парогазовой полости:

$$\frac{d^2 r}{d\tau^2} = \frac{1}{m} \left(\frac{\pi L^2 (P_2 - P_1)}{4} - mg \right) \quad (\text{основное уравнение динамики}) \quad (7)$$

где r – радиус парогазовой полости, м, ($r_0 < r < l$ при $\tau = 0$ $r = r_0$) (8)

τ – время расширения парогазовой полости текущее, с, ($0 < \tau < \tau_k$ –; при $\tau = \tau_k$ $r = l$) (9)

L – длина взрывающейся проволоочки, м;

m – масса брикета замороженной рыбы, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

V – скорость ударной волны, м/с;

l – расстояние между плоскостями, м.

Решение уравнения (7) с учетом условий (8) и (9) получаем в виде:

$$r - r_0 = \frac{l - r_0}{\tau_k} \tau + \frac{\tau(\tau - \tau_k)}{2} \left[\frac{\pi L^2}{4m} (P_2 - P_1) - g \right] \quad (10)$$

Используя уравнение Гюгионо (6), получаем окончательное решение для нахождения искомого давления

$$P_2 = \frac{4m}{\pi L^2 \left(1 - \frac{1}{\chi} \right)} \left[\left(r - r_0 - \frac{l - r_0}{\tau_k} \tau \right) \frac{2}{\tau(\tau - \tau_k)} + g \right] \quad (11)$$

где $\chi = \frac{(k+1)\rho_2 - (k-1)\rho_1}{(k+1)\rho_1 - (k-1)\rho_2}$

Выражение (11) является математической моделью интенсивного разрушения замороженного брикета рыбы импульсным высоковольтным разрядом и может быть использовано для количественной оценки давления на нижнюю поверхность брикета рыбы. Это давление должно превышать прочность ледяных мостиков ($\sigma_{\text{лд}}$), но быть меньше прочности мышц рыбы ($\sigma_{\text{рб}}$) ($\sigma_{\text{лд}} < P_2 < \sigma_{\text{рб}}$) (5 МПа < P_2 < 30 МПа).

Подставив известные значения m , r , r_0 , l , L , τ , τ_k , χ , в уравнение (11), получим графическую зависимость давления ударной волны на нижнюю поверхность брикета в зависимости от времени расширения парогазовой полости (рис.2).

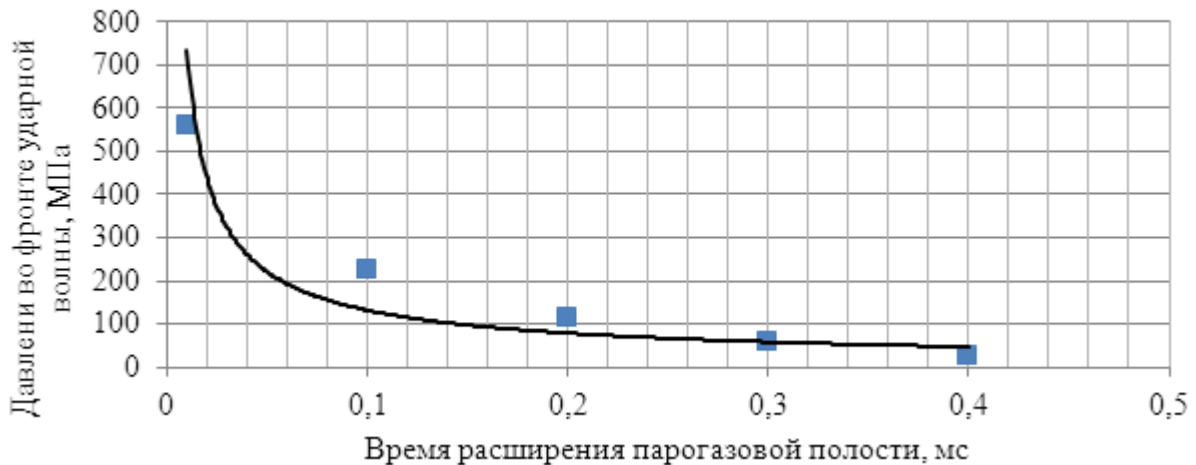


Рис.2. Оценка давления на нижнюю поверхность брикета рыбы

Список литературы:

1. Антуфьев В.Т. и др. Разработка энергосберегающей технологии размораживания рыбы / В.Т. Антуфьев, О.В. Бычихин, С.А. Громцев // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2012. - №1. [Электронный ресурс]: <http://www.processes.ihbt.ifmo.ru>
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, т. VI, М.: Физматлит, 2006.-736 с.
3. Лойцянский Л.Г. «Механика жидкости и газа»: Учеб.длявузов. – 7-еизд., испр. - М.: Дрофа, 2003.-840с.
4. Седов Л.И. «Методы подобия и размерности в механике» - М.: Наука 1077. - 440с.