

в повышении эффективности растениеводства / А. А. Жученко, А. Д. Урсул. – Кишинёв; Штинуа, 1983. – 304 с.

3. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства. / Подготовлен А. А. Михайличенко, А. А. Кутузова, Ю. К. Новосёлов [и др.]. – М.: 1995. – 174 с.

## **ВИХРЕВОЙ (ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ) ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ**

*Н. В. Оболенский, д.т.н., профессор кафедры «Механика», НГИЭИ;*

*Ю. Е. Крайнов, преподаватель кафедры «Механика», НГИЭИ;*

*С. Б. Красиков, директор ГОУ НПО «Профессиональный лицей»*

**Аннотация.** Разрабатываемые в рамках кавитационно-акустического воздействия технологии и оборудования могут быть использованы в различных отраслях промышленности, в частности, в пищевой промышленности при обработке сырной сыворотки.

**Ключевые слова:** ультразвук, кавитация, полость, каверна, нагрев.

## **VORTICAL (HYDRODYNAMICAL) SOURCE OF HEAT OF**

*N. V. Obolensky, the doctor of technical sciences, the professor of the chair «Mechanic», NGIEI;*

*J. E. Krajnov, the teacher of the chair «Mechanic», NGIEI;*

*S. V. Krasikov, the director GOU NPO «Professional liceum»*

**Annotation:** technologies developed within the limits of cavitative-acoustic influence and the equipment can be used in various industries, in particular, in the food-processing industry at processing cheese whey.

**Keywords:** ultrasound, cavitation, a cavern, a cavity, heating.

Использование ультразвуковых колебаний высокой интенсивности позволяет ускорить многие технологические процессы, протекающие в жидких, газообразных и твердых средах. Основным фактором, инициирующим ускорение процессов в ультразвуковом поле высокой интенсивности, является кавитация – явление образования и схлопывания парагазовых пузырьков в жидкой среде, подвергаемой гидродинамическому воздействию (рис. 1).

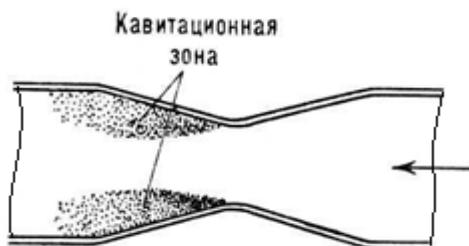


Рис. 1. Явление гидродинамической кавитации в жидкой среде

Явление гидродинамической кавитации, возникает при распространении в жидкости упругих колебаний с заданной амплитудой гармонического давления и строго де-

терминировано по распределению энергии с параметрами пространства упругих колебаний.

Кавитационные реакторы конструкции Ю. С. Потапова – ЮСМАР были первыми серийно выпускаемыми и внедренными в эксплуатацию. Кроме ЮСМАР малыми сериями изготавливались и поставлялись потребителям теплогенераторы: Палевича А. Ф. (патент RU 2129689 от 06.04.98 г.), Мустафаева Р. И. (патент RU 2132517 от 27.06.99 г.), Калиниченко А. Б. (патент RU 2223452 от 10.02.04 г.) и близкий по конструкции инжекторный термогенератор Курносова Н. Е (патент RU 2177591 от 27.12.01 г.), где для ускорения жидкости вместо циклона используется тангенциальное сопло. В настоящее время нам известно 32 патента на «вихревые трубы» и 18 патентов на инжекторные/эжекторные теплогенераторы.[1].

За основу кавитационного реактора была принята Вихревая труба Ранке[1].

Известно, что кавитация возникает при достижении потоком граничной скорости  $V = V_c$ , когда давление в потоке становится равным давлению парообразования (насыщенных паров). Этой скорости соответствует граничное значение критерия кавитации.

Кавитационное течение характеризуют безразмерным параметром (числом кавитации):

$$K = \frac{z(P - P_s)}{\rho V^2}, \quad (1)$$

где  $P$  – гидростатическое давление набегающего потока, Па;  $P_s$  – давление насыщенных паров жидкости при определенной температуре окружающей среды, Па;  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость потока на входе в систему, м/с.

В зависимости от величины  $X$  можно различать четыре вида потоков [2]:

1) докавитационный – сплошной (однофазный) поток при  $X > 1$ ;

2) кавитационный – (двухфазный) поток при  $X \approx 1$ ;

3) плёночный – с устойчивым отделением кавитационной полости от остального сплошного потока (плёночная кавитация) при  $X < 1$ ;

4) суперкавитационный – при  $X \leq 1$ .

Нами на стенде ТИЭПВ-1 [3], установленном в лаборатории кафедры «Механика» ГБОУ ВПО НГИЭИ, проведены исследования вихревого (гидродинамического) теплогенератора с целью определения возможности усиления гидродинамической составляющей кавитационного воздействия в вихревой трубе, а также определения оптимальных геометрических параметров улитки и удельного расхода электроэнергии ( $W_{y\partial}$ ) для нагрева 1 кг воды на 1 °С,

Вт ч/кг °С:

$$W_{y\partial} = W/G_{\phi}\Delta t_l, \quad (2)$$

где  $W$  – количество электроэнергии, потреблённой ВТГ в течение 1 ч;  $G_{\phi}$  – усреднённое фактическое количество воды, нагретой в течение 1 ч;  $\Delta t_l$  – усреднённая разница между температурой воды на выходе из ВТГ и на входе в него в начале испытаний.

В качестве прототипа исследуемого теплогенератора был принят вихревой теплогенератор Потапова Ю. С. (рис. 2) [1].

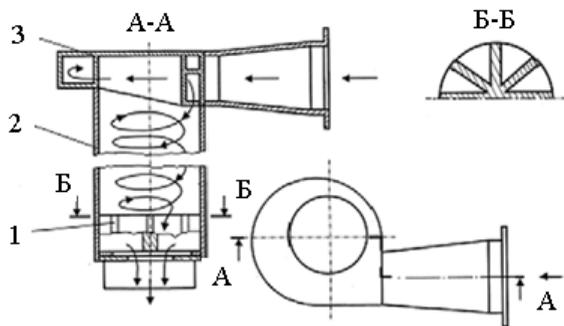


Рис. 2. Вихревая труба: 1 – развихритель, 2 – корпус трубы, 3 – улитка

При входе в улитку (рис.3, *a*) поток воды закручивается в вихревом движении и, пройдя по кругу, обжимает входной поток, создавая на входе в улитку неполный гидравлический удар, в котором сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и с резким перепадом давления. Эффект сопровождается звуковым импульсом тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырёк.

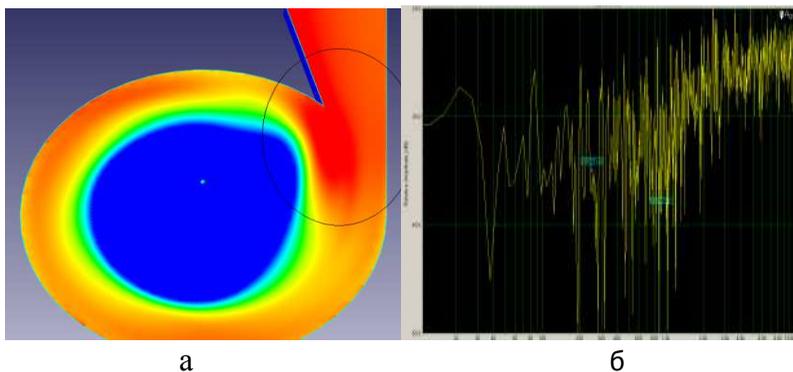


Рис. 3. Улитка теплогенератора (*a*) и звуковой спектр (*б*) при её работе

Если степень развития кавитации такова, что в случайные моменты времени возникает и захлопывается множество пузырьков, то явление сопровождается сильным шумом со сплошным спектром (рис.3,б) от нескольких сотен Гц до тысяч Гц.

Известно [2], что на элементарную струйку воздействуют факторы 1...4 (см. рис.4):

$$1) \quad dP_1 = p \cdot d\omega; \quad dP_2 = \left( p + \frac{\partial p}{\partial S} dS \right) d\omega - \text{давление на}$$

торцевые сечения;

$$2) \quad dG = \rho \cdot g \cdot d\omega \cdot dS - \text{масса выделенного элемента};$$

$$3) \quad dF = \tau \cdot \underbrace{d\chi \cdot dS}_{ds\delta s\delta} - \text{сила сопротивления по периметру}$$

$d\chi$ ;

$$4) \quad dFuF = dm \frac{du}{dt} = \rho \cdot d\omega \cdot dS \frac{du}{dt} - \text{сила инерции, свя-}$$

занная с изменением во время скорости течения,

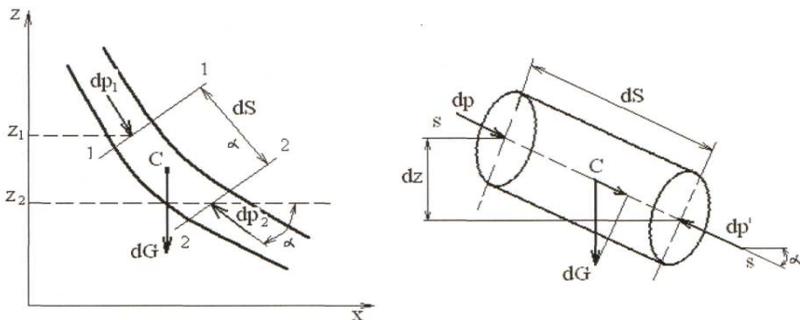


Рис. 4. Факторы, действующие на элементарную струйку

Применительно к системе гидроудара основное уравнение неустановившегося движения имеет вид:

$$\left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{u_2^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{u_1^2}{2g}\right) + \int_{s_1}^{s_2} \frac{\tau}{\rho \cdot g} \cdot \frac{d\chi}{d\omega} dS + \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{g \cdot \partial t} dS = 0. \quad (3)$$

При этом повышение давления в улитке будет равным:

$$\Delta p = \rho \cdot v \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot \left(\frac{1}{E_1} + \frac{D}{b \cdot E_2}\right)}}, \quad (4)$$

где  $p$  – давление,  $\rho$  – плотность,  $v$  – скорость жидкости,  $E_1$  – модуль упругости жидкости,  $E_{21}$  – модуль упругости стенок улитки,  $D$  – диаметр улитки.

Для усиления явления гидродинамической кавитации гидроудара при неустановившемся движении жидкости, нами изменена конструкция входной части реактора, используя уравнения (3) и (4), рассчитан и изготовлен опытный образец улитки (рис.5), а также проведены сравнительные испытания реактора с существующей и вновь рассчитанной улиткой.

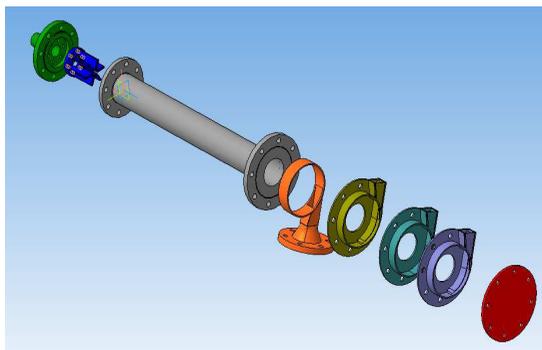


Рис. 5. Реактор кавитационного теплообменника с набором различных улиток

Результаты испытаний отражены на рис.6 и 7.

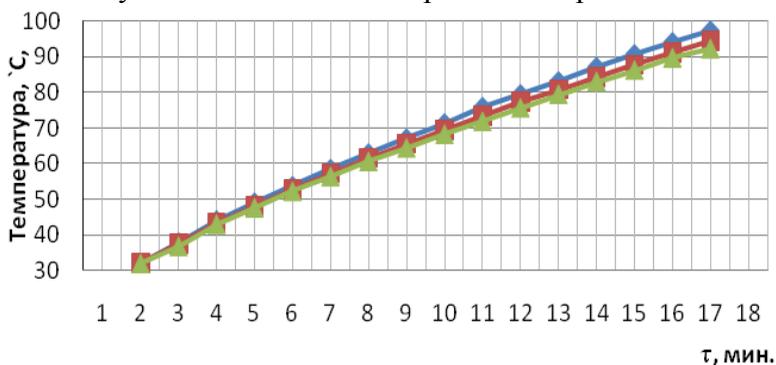


Рис. 6. Зависимость температуры нагрева 20 кг воды в режиме рециркуляции

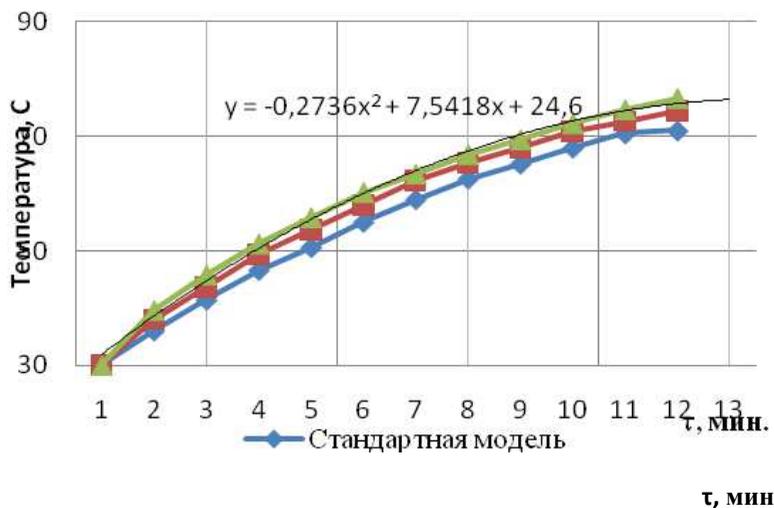


Рис. 7. Зависимость температуры нагрева в режиме отопления

Результаты исследований показали, что изменение конструкции модели улитки привело к увеличению скорости нагрева воды при одних и тех же исходных параметрах реактора.

Кавитационный реактор – рабочая модель при работе в режиме циркуляции нагревает воду, например до 70 °С, на 4,9 %, а с рассечением потока на 9,8 % быстрее, в режиме отопления, соответственно, на 5,0 % и 14,2 %. Таким образом, изменение конструкции улитки приводит к улучшению эксплуатационных параметров кавитационного реактора.

Эффективность кавитационно-акустического воздействия в технологических процессах сельскохозяйственного производства показана в работе [5].

Применение кавитационного реактора в пищевой промышленности позволяет не просто нагревать продукты, но и использовать его как специальное технологическое оборудование. В частности, в таких технологических процессах, как пастеризация сырного рассола.

Проведённые на стенде [3, 6, 7] исследования показали, что использование кавитационной установки не требует, например, при обработке сырной сыворотки нагревать её выше 90 °С. Достаточен нагрев всего до 70 °С, т.к. уничтожение микроорганизмов в ней происходит за счет схлопывания и кавитационных пузырьков, а увеличение скорости нагрева среды позволяет экономить от 4,9 до 14,2 % расходуемой электроэнергии. К тому же такая обработка пищевых продуктов значительно меньше изменяет их физико-химические и структурно-механические свойства, а также способствует получению продукта с максимальным содержанием в нем питательных веществ и витаминов при минимальных потерях сырья.

### *Список литературы*

1. Потапов, Ю. С. Энергия вращения. / Ю. С. Потапов Л. П., Фоминский, С. Ю. Потапов.
2. Иванов, А. Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений / Иванов А. Н. – Л.: Судостроение, 1980. – 237 с.
3. Осокин, В. Л. Результаты экспериментально-теоретических исследований по разработке стенда испытаний подогревателей воды: монография /В. Л. Осокин. – Княгинино; Изд-во НГИЭИ, 2011. – 142 с.
4. Федоткин, И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов).Ч.1. / И. М. Федоткин, И. С. Гулый – К.: Полиграфкнига, 1997. – 940 с.
5. Крайнов, Ю. Е. Эффективность кавитационно-акустического воздействия в технологических процессах сельскохозяйственного производства / Н.В. Оболенский, В. Л. Осокин, Ю. Е. Крайнов // «Механизация и электрификация сельского хозяйства». – 2011. – № 5 – С.23...25.
6. Патент на полезную модель № 101835 (заявка № 2010130289). Стенд для испытаний электрических конструкций подогревателей воды / Н. В. Оболенский, В. Л. Осокин. (РФ). – 4с: ил.1. Опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3.
7. Патент на полезную модель № 107360 (заявка № 2011111913). Стенд для испытаний электрических подогревателей воды / Н. В. Оболенский, В. Л. Осокин, Ю. Е. Крайнов, С. А. Борисов, С. Б. Красиков (РФ). – 4 с: ил.1. Опубл. 10.08.2011. Бюл. № 22.