

## ЛИТЕРАТУРА

1. Adkins D.R., Andraka C.E., Moss T.A. "Development of a 75-kW Heat Pipe Receiver for Solar Heat-Engines" Proc. IX Int. Heat Pipe Conf. Albuquerque, 1995, P. 417-423.
2. Шевчук Е.Н., Фиалко Н.М., Малецкая О.Е. Разработка автономных энергоустановок с системой внешнего нагрева для утилизации теплоты высокотемпературных газов // Пром. теплотехника. – 2001. – Т. 23. – № 4-5. – С. 122-127.
3. Субботин В.И., Сорокин Д.Н., Овечкин Д.М., Кудрявцев А.П. Теплообмен при кипении металлов в условиях естественной конвекции. – М.: Наука, 1969. – 207 с.
4. Groll M., Brost O., Mack H., Shevchuk E.N. Evaporation heat transfer of sodium from capillary structures // Proc. 5 Intern. heat pipe conf.- Japan, Tsukuba - Inst. Space and Astronaut. Sci.- 1984.- P. 21-27.
5. Aoki S. Aspects of liquid-metal superheat and the effects on dynamics boiling. "Progress in heat and mass transfer", V. 7, 1973, P. 569-587.
6. Sakurai A., et al. "Bull. of the Inst. of Atom. Energy Kyoto University.", vol. 49, 1976. – P. 20.

Получено 09.10.2004 г.

УДК 531.7

МАРТЫНЕНКО М.П.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ НА ВЫХОДЕ ИЗ КАМЕРЫ ПУЛЬСАТОРА МЕТОДОМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Представлено експериментальні дані для прогину гумових мембран та визначено швидкості витікання середовища в пульсаторах камерного типу.

Представлены экспериментальные данные для прогиба резиновых мембран и определены скорости истечения среды в пульсаторах камерного типа.

Experimental data for rubber diaphragms flexure are presented. Fluid out-flow velocities in chamber mode pulse apparatus are determined.

$A$  – амплитуда колебаний скорости, м/с;

$S$  – площадь поперечного сечения трубы пульсатора, м<sup>2</sup>;

$V$  – объем выталкиваемой или втягиваемой жидкости, м<sup>3</sup>;

$W$  – радиус прогиба мембраны, м;

$R$  – радиус мембраны, м;

$t$  – время, с;

$u$  – скорость движения жидкости в трубе пульсато-

ра, м/с;

$\omega$  – частота колебаний скорости, Гц.

### Индексы:

г – газ;

ж – жидкость;

к – камера;

0 – начальный;

м – мембрана.

### Введение

Пульсаторы камерного типа используются для процессов экстрагирования в пищевой, фармакологической и др. промышленности [1,2]. Математические модели работы пульсаторов камерного типа приведены в [3-5], где рассчитаны дина-

мические характеристики камеры пульсатора, в том числе и скорости истечения из трубы. В [7] приведен расчет гидродинамики в реакторе пульсатора камерного типа, где предполагается, что профиль продольной скорости на выходе из трубы пульсатора камерного типа равномерный и изме-

няется во времени по гармоническому закону вида:  $v = A \sin \omega t$ , где  $A = 4$  м/с – амплитуда колебаний скорости,  $\omega = 0,4$  Гц – их частота.

### Цель исследования

Повышенная сложность физических явлений, возникающих в камере пульсатора, обусловили необходимость проведения экспериментальных исследований по определению зависимости скорости истечения обрабатываемой среды от времени. Ее экспериментальное определение необходимо для адекватного математического моделирования гидродинамических и тепломассообменных процессов в реакторе пульсационного устройства камерного типа.

### Методы исследования

Исследования проводились на экспериментальном стенде (рис. 1а), состоящем из цилиндрической емкости 1, в которой вертикально установлена труба пульсатора 2. Труба пульсатора изгото-

влена из плексигласа с внутренним диаметром 0,02 м и длиной 0,55 м. Камера пульсатора 3 представляет собой параллелепипед размерами  $0,225 \times 0,225 \times 0,1$  м с выточенным внутри цилиндром диаметром 0,14 м длиной 0,1 м. Она также изготовлена из плексигласа. Камера является основным рабочим элементом пульсатора. Фронтальный вид камеры представлен на рис. 1б. Камера снабжена патрубками 4 для подключения через трехходовой клапан 5 к рабочим газовым емкостям высокого ( $H$ ) и низкого ( $L$ ) давлений. В камере расположены две резиновые мембраны 6, синхронно и симметрично перемещающиеся под действием перепада давлений газа  $p_r$  и жидкости  $p_{ж}$  к серединной плоскости камеры (подключение к емкости  $H$ ) либо в противоположном направлении (подключение к емкости  $L$ ). Эти перемещения инициируют соответствующее движение суспензии 7 в соединительном канале 2.

Методика проведения эксперимента по определению скорости в соединительном канале заклю-

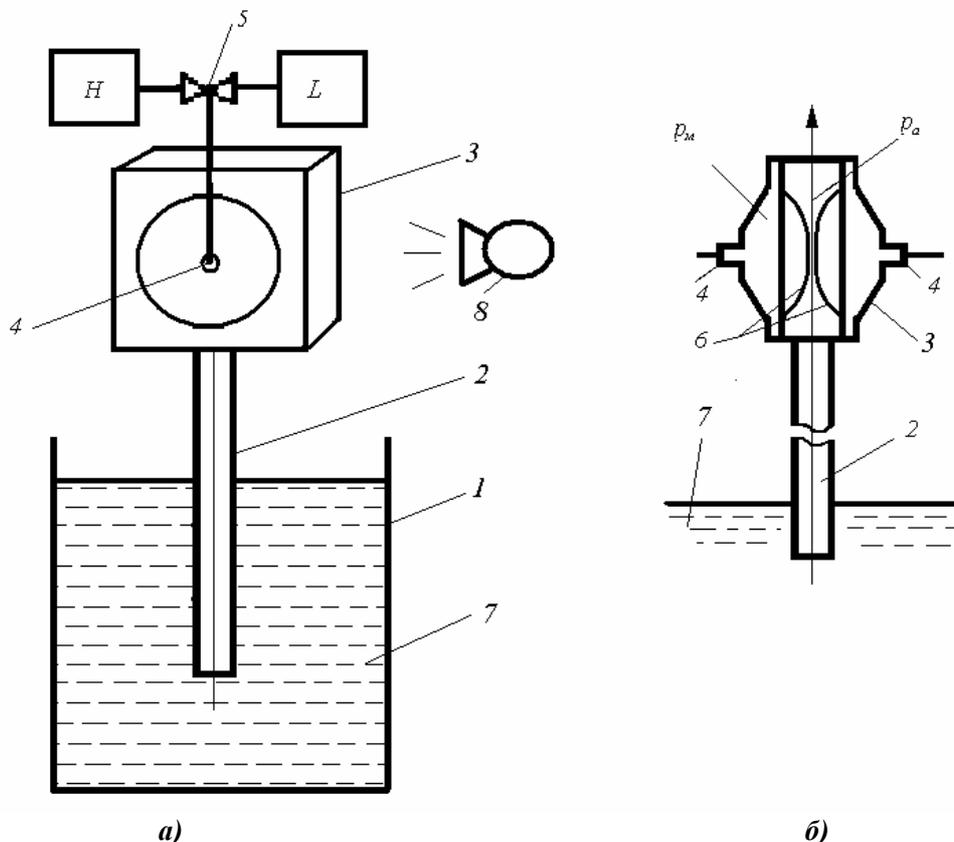


Рис. 1. Схема экспериментальной установки – а, фронтальный вид камеры – б.

Обозначения: 1 – емкость; 2 – труба пульсатора; 3 – камера пульсатора; 4 – патрубки; 5 – электромагнитный клапан; 6 – резиновые мембраны; 7 – обрабатываемая среда; 8 – видеокamera.

чалась в следующем. Ресивер высокого давления наполнялся сжатым воздухом. Из ресивера низкого давления откачивался воздух форвакуумным насосом. Емкость заполнялась водой. Труба пульсатора закрывалась пробкой и наполнялась водой вместе с камерой пульсатора, через отверстие в верхней части камеры пульсатора.

Пробка вынималась и система проверялась на герметичность. Включали прибор, управляющий электромагнитным клапаном, что инициировало перемещение мембран и соответственно обрабатываемой среды. Режим пульсаций выпуск – выпуск составлял 0,5...4,0 с соответственно. Перемещения мембран в камере пульсатора фиксировали при помощи видеосъемки. Далее полученный видеоматериал оцифровывался, проводилось разбиение на кадры. На каждом кадре при помощи компьютера измерялся радиус прогиба мембраны, а в случае совместного их деформирования также радиус их соприкосновения. Определялся объем вытесненной или втянутой жидкости в каждый момент времени. Изготовление камеры из плексигласа позволило не только наблюдать происходящие в ней процессы, но и зафиксировать их с помощью видеокамеры. В частности, фотографирование динамики перемещения мембран позволило вычислить изменение скорости движения жидкости  $v$  в трубе пульсатора 2. Величина  $v$  связана с изменением объема жидкости  $V$  в камере:

$$v = \frac{1}{S} \frac{dV}{dt}, \quad (1)$$

где

$$V = V_{к.0} - 2V_M. \quad (2)$$

Теоретические расчеты, представленные в [4,6] и подтвержденные экспериментом в [6], позволяют отнести резиновые мембраны к классу гибких оболочек. Объем жидкости, вытесняемой мембраной относительно поверхности нулевого ее прогиба, до соприкосновения

$$V_M = \pi W_0 (3R^2 + W_0^2) / 6, \quad (3)$$

после соприкосновения мембран

$$V_M = \pi W_0 (3R^2 + 3R_{сх}^2 + W_0^2) / 6. \quad (4)$$

Таким образом, фиксируя во времени изменения  $W_0$  можно вычислить  $v$ . За начальный отсчет времени принят момент нулевого прогиба мембран.

Изменение объема жидкости в свободном про-

странстве камеры во времени представлено на рис. 2. Полученные экспериментальные данные были аппроксимированы полиномиальной функцией третьей степени, с величиной достоверности аппроксимации равной 0,96.

$$V(t) = (-0,949t^3 + 3,663t^2 - 3,261t + 1,395) \cdot 10^{-3}. \quad (5)$$

Продифференцировав функцию по времени, с учетом (1) получим функцию зависимости скорости от времени

$$v = \frac{1}{S} (-2,847t^2 + 7,326t - 3,261) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где  $t$  в секундах.

Аналитическое дифференцирование функции  $V(t)$  позволило построить график зависимости скорости от времени. За отрицательное направление  $v$  принято встречное движение диафрагм (рис. 3).

### Обсуждение результатов

В работе представлена новая методика определения скорости на срезе трубы пульсатора камерного типа. Методика может использоваться при моделировании процессов гидродинамики и тепломассообмена в таких реакторах.

При проведении эксперимента было также установлено, что в момент подключения вакуума, при резком перемещении мембран к стенкам, в камере происходит выделение растворенного в воде газа и образуется облако пузырьков. Перво-

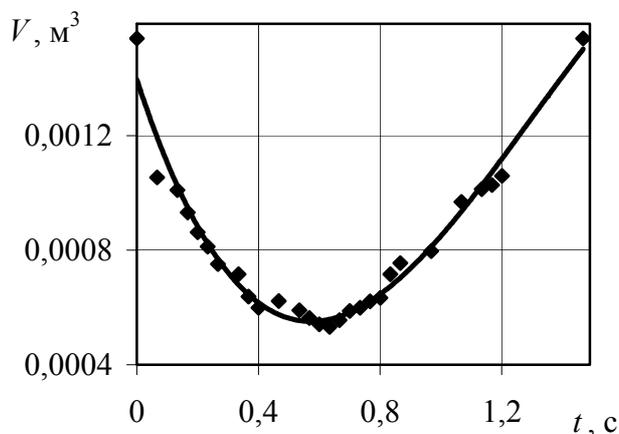


Рис. 2. Изменение объема жидкости в камере от времени.

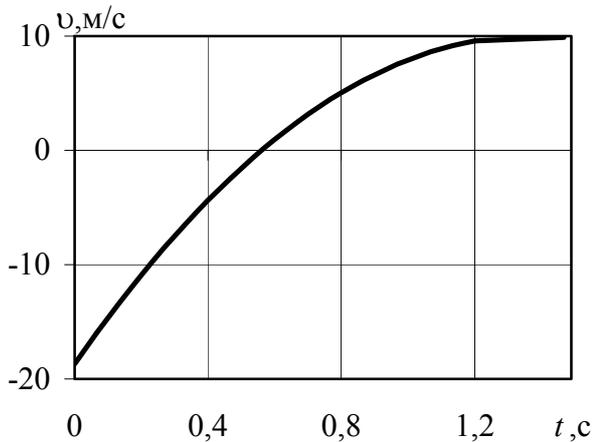


Рис. 3. Зависимость скорости жидкости в трубе пульсатора от времени.

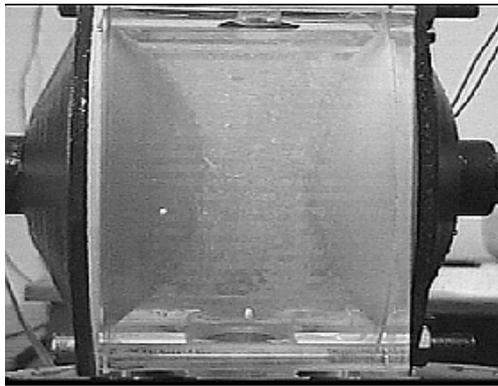


Рис. 4. Фотография камеры в момент времени  $t = 2,6$  с, при подключении вакуума.

начально пузырьки образуются вверху камеры, а затем распространяются по всей камере. Выделившийся воздух собирается вверху камеры пульсатора в конце периода подключения ресивера низкого давления и при последующем схлопывании мембран может выталкиваться в трубу пульсатора. На рис. 4 представлена фотография камеры в момент времени  $t = 2,6$  с, при подключении вакуума.

### Выводы

В работе определена зависимость скорости истечения обрабатываемой среды из трубы пульсатора для камеры с полным объемом  $V_k = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  при режиме пульсаций впуск –

выпуск 0,5...4,0 с. В дальнейшем необходимо экспериментально определить зависимость скорости истечения от времени для различных режимов пульсаций, размеров камер и исследовать влияние воздушной прослойки на процесс перемешивания.

Работа выполнена при частичной поддержке Фонда фундаментальных исследований министерства образования и науки Украины (проект № 04070028Г)

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чайка А.И., Мартыненко М.П. Экстракция из растительного сырья при пульсациях среды // Труды 1-й межд. науч.-практ. конф. "Современные энергосберегающие тепловые технологии". - Москва. - 2002. - Т.3. - С. 242-246.
2. Корчинский А.А., Матюшкин М.В. Экстракция сырья растительного происхождения // Приложение к журналу Пром. теплотехника. - № 4. - Т. 25. - 2003. - С. 137-140.
3. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Чайка А.И. Пульсаторы с переменной геометрией рабочего объема и влияние обрабатываемых композитов на динамические характеристики пульсаторов // Инж. Физ. Журн. - 1998. - 71. - № 5. - С. 775-783.
4. Накорчевский А.И., Басок Б.И. Гидродинамика и теплоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках. - Киев: Наукова думка, 2001. - 348 с.
5. Иваницкий Г.К., Корчинский А.А., Матюшкин М.В. Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа // Пром. теплотехника. - 2003. - Т. 25. - № 1. - С. - 29-34.
6. Накорчевский А.И., Мартыненко М.П., Басок Б.И. К расчету пульсаторов камерного типа // Инженерно физический журнал. - 2004. - Т. 77. - № 1. - С. 129-132.
7. Долинский А.А., Мартыненко М.П., Басок Б.И., Чайка А.И. Численное моделирование гидродинамических процессов в пульсационном экстракторе // Пром. теплотехника. - 2004. - Т. 26. - № 5. - С. 5-10.

Получено 06.10.2004 г.