

## **Исследование щелей ротора и статора прямоугольной формы многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства**

*Аспирант Мещеряков И.В.*

*550781@mail.ru*

*Сибирский Федеральный Университет*

***Рассмотрена рабочая пара статор-ротор многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства. Графически и аналитически описан процесс изменения площади проходного сечения щелей ротора и статора прямоугольной формы. Получены расчетные выражения для величин площади проходного сечения рабочей пары для любого момента времени, а также выражения для скорости изменения этих функций.***

***Ключевые слова:*** многоступенчатое гидроударно-кавитационное устройство, активация, резонанс, гидроудар, рабочая пара статор-ротор, форма щелей.

Для проведения процессов активации, смешивания, измельчения и гомогенизации, составляющих основу технологических процессов приготовления рабочих сред для различных производств, включая пищевую, могут эффективно применяться многоступенчатые гидроударно-кавитационные устройства с разгонно-тормозным течением рабочей среды. В таком устройстве протекают гидромеханические процессы, которые осуществляются благодаря относительному движению щелей ротора и статора. Одним из основных факторов эффективной работы устройства является форма поперечного сечения этих щелей и характер их движения [1].

Многоступенчатое гидроударно-кавитационное устройство с эффективностью используется в различных гидромеханических, химических, тепло-массообменных процессах. Высокая степень воздействия на обрабатываемую среду объясняется развитой интенсивной акустической импульсной кавитацией, большими сдвиговыми напряжениями, гидравлическими ударами и другими механическими воздействиями [2].

Режим течения обрабатываемой жидкой среды в многоступенчатом гидроударно-кавитационном устройстве определяется многими факторами. Рассмотрим, как влияет форма поперечного сечения щелей ротора и статора на площадь проходного сечения рабочей системы «щель ротора - щель статора». Расчет площади проходного сечения функции времени  $S(t)$  проведем на примере щелей с поперечным сечением с формой близкой к прямоугольной. На рисунке 1 показаны выделенные из боковых стенок ротора и статора щель ротора и статора, стрелками показаны направления движения рабочей среды и движения щели ротора [3].

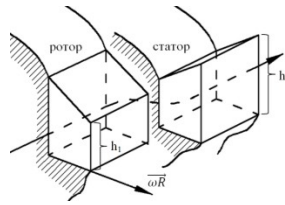


Рис. 1. Щели рабочей пары многоступенчатого гидродударно-кавитационного устройства

На рисунке 2 представлены функции  $y_p(x)$  и  $y_c(x)$ , описывающие форму поперечного сечения щелей ротора и статора. Одна из функций зависит только от пространственной координаты, а другая ещё и от времени:

$$y_{px,t} = h_1 - h_2 - h_1 a(x - \omega R t), \quad (1)$$

$$y_{px,0} = h_1 - h_2 - h_1 a x, \quad (2)$$

$$y_{cx} = h_2 - h_1 a x + h_1 \quad (3)$$

где:  $\omega$  - угловая скорость ротора;  $R$  - радиус боковой цилиндрической поверхности ротора;  $a$  - ширина щелей (высота трапеции);  $h_1, h_2$  - высоты щелей (основание трапеции).

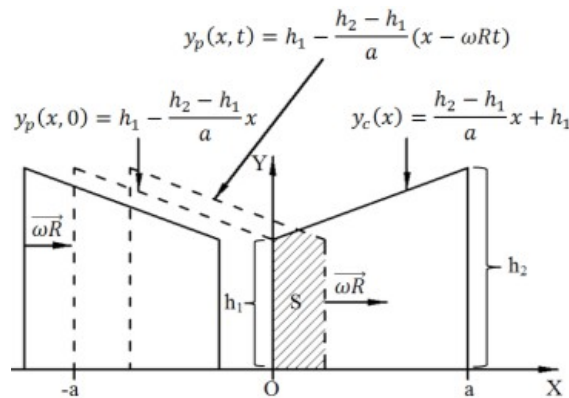


Рис. 2. Функции  $y_p(x)$  и  $y_c(x)$  формы сечения щелей статора и ротора

Ось  $OX$  направлена по направлению линейной скорости точек боковой поверхности ротора  $\omega R$ .

Вычислим площадь, заключённую между линиями, относящимися к неподвижной трапеции в виде поперечного сечения щели статора и подвижной трапеции в виде поперечного сечения щели ротора как функцию времени. Это будет искомая площадь  $S(t)$ . Графики положений поперечных сечений щели ротора и статора показаны на рисунке 3.

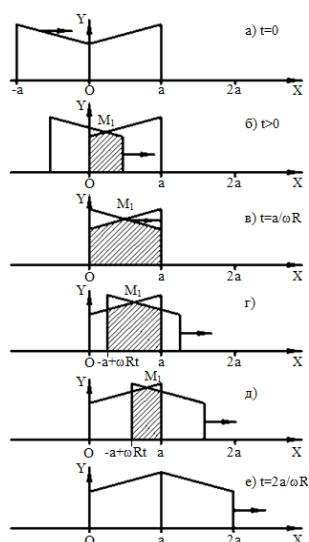


Рис. 3. Графики положений поперечного сечения щели ротора и статора

На рисунке 3а показано начальное положение, на рисунках 3б-3д показаны промежуточные положения и на рисунке 3е заключительное положение, в этот момент времени  $t=2a/\omega R$  щель ротора и щель статора полностью не совпадают и гидравлическое сопротивление системы «щель ротора – щель статора» максимально [4].

Определим площадь, заштрихованную на рисунке 3. Для этого проинтегрируем соответствующие функции в несколько этапов. На первом этапе при  $0 \leq t \leq a/\omega R$  подвижным является первый край заштрихованной фигуры, а на втором этапе при  $a/\omega R \leq t \leq 2a/\omega R$  подвижным, становится ее левый край. Найдём координату  $x_{п}$  точки пересечения кривых  $y_p(x,t)$  и  $y_c(x)$  приравняв эти функции:

$$x_{п} = x_{пт} = 0,5\omega R t$$

На стадии разгона среды по щелям ротора и статора функция  $S(t)$  определится следующим образом:

$$S_t = 0 x_{пт} x dx + x_{п} \omega R t y_p(x, t) dx, \quad x_{п} \leq a/2; \quad 0 \leq t \leq a/\omega R \quad (4)$$

На стадии торможения рабочей среды в щелях ротора и статора соответствующая функция  $S(t)$  находится интегрированием в других пределах:

$$S_t = -a + \omega R t x_{п} x dx + x_{п} a y_p(x, t) dx, \quad x_{п} \leq a/2; \quad a/\omega R \leq t \leq 2a/\omega R \quad (5)$$

Определим интеграл (4), используя явный вид функций (1) и (3):

$$S_t = h_2 - h_1 a \omega^2 R^2 t^2 + h_1 \omega R t, \quad 0 \leq t \leq a/\omega R \quad (6)$$

Вычислим интеграл (5), учитывая, что заштрихованная фигура симметрична, и её площадь можно найти, вычислив половину площади:

$$S_t = -0,8 h_2 - h_1 a \omega^2 R^2 t^2 - 3 h_1 \omega R t + 2 h_2 \omega R t - h_2 a + 3 h_1 a, \quad a/\omega R \leq t \leq 2a/\omega R$$

(7)

Вид функций  $S(t)$ , соответствующим выражениям (6) и (7), схематично показан на рисунке 4.

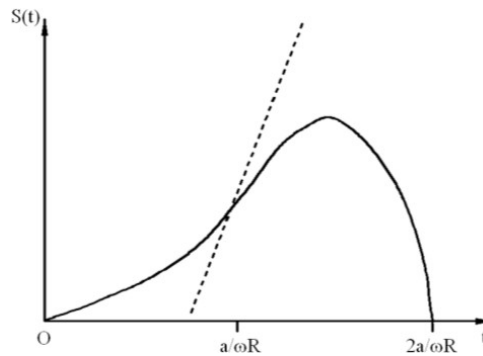


Рис. 4. Функции  $S(t)$ , соответствующие выражениям (6) и (7)

Так как одним из основных параметров эффективной работы многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства является кавитационной режим, возбуждаемый импульсами отрицательного ускорения рабочей среды, то стадия торможения и соответствующая ей функция  $S(t)$  наиболее важны для исследования [5].

Рассчитаем скорость уменьшения площади проходного сечения системы щелей ротора и статора в конце этапа торможения. Для этого найдём производную от функции (7) при  $t = 2a/\omega R$ :

$$dS/dt = -1,6 h_2 - h_1 a \omega^2 R^2 t^2 - 3 h_1 \omega R + 2 h_2 \omega R; \quad (8)$$

$$dS/dt = -h_2 \omega R t = 2a/\omega R$$

(9)

Значение производной функции  $S(t)$  в момент полного рассовмещения

щелей ротора и статора не зависит от высоты  $h_1$  и полностью определяется лишь величиной  $h_2$  и линейной скоростью относительного движения боковых поверхностей ротора и статора [6].

Таким образом, для ступеней многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства со щелями ротора и статора с прямоугольным поперечным сечением получены расчётные выражения для величин площади проходного сечения пары «щель ротора – щель статора» для любого момента времени как на этапе разгона рабочей среды, так и на этапе торможения, а также соответствующие формулы для скорости изменения этих функций при торможении среды в устройстве.

### Список литературы

1. *Мещеряков И.В.* Применение многоступенчатого проточного устройства для активации материалов анодной массы в процессе её производства // Молодежь и наука: сборник материалов студенческой конференции, 2010. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/16/71.pdf> (дата обращения 28.04.2012).

2. *Червяков В.М.* Теоретические основы методов расчёта роторных аппаратов с учётом нестационарных гидродинамических течений: автореф. дис. канд. техн. наук, 2007 / В.М. Червяков. М.: Машиностроение, 2007. 35 с.

3. *Ружицкий В.П.* Гидромеханический диспергатор для приготовления рабочих жидкостей. - М.: МВОКУД, 1995. – 52 с.

4. *Балабышко А.М.* Об использовании для производства рабочих жидкостей роторных аппаратов с модуляцией потока. М.: Уголь, 1988. № 2. С. 36-38.

5. *Мещеряков И.В.* Применение многоступенчатого проточного устройства для активации материалов анодной массы в процессе её производства. // Молодежь и наука: сборник материалов студенческой конференции [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2010. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/16/71.pdf>

6. *Балабышко А.М.* Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности / А.М. Балабышко, В.Ф. Юдаев. М.: Недра, 1992. 176 с.

# **Analysis of the rotor and stator slots rectangular shapes of the multistage hydropercussion cavitation device**

*Postgraduate Mesheryakov I.V.  
Siberian Federal University*

*Motive rotor-stator of the multistage hydropercussion cavitation device is studied. The process of changing the area of flow section of the rotor and stator slots rectangular is described analytically and graphically. Calculated expressions for passage area of working pair for any time, as well as expression for the rate of change of these functions are obtained.*

**Keywords:** the multistage hydropercussion cavitation device, activation, resonance, hydroblow, motive rotor-stator, form cracks.