

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований коэффициента сжатия потока жидкости в плоском щелевидном канале

доц. Шабловский А.С., к.т.н. доц. Кузнецов В.С., к.т.н. доц. Яроц В.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана

8 (499) 263-65-18, e10bmstu@rambler.ru

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований гидропривода с дроссельным регулированием. Течение жидкости рассмотрено в плоском щелевидном дроссельном канале, сопровождающееся возникновением кавитационных явлений. Проведено сопоставление результатов расчёта коэффициента сжатия потока, выполненных на базе теории струй в соответствии с методикой, предложенной профессором С.С. Рудневым, и значений этого коэффициента, полученных экспериментальными методами. Исследование коэффициента расхода при схеме течения с образованием замкнутой полости проведено с использованием эквивалентной схемы.

Ключевые слова: регулятор расхода, дроссельное регулирование, статический напор, механика жидкости и газа.

Введение

Качество работы гидроприводов с дроссельным регулированием в определенной мере зависит от гидродинамических характеристик потоков жидкости в дроссельных каналах регулирующей аппаратуры. Однако гидродинамика этих потоков изучена еще не в полной мере. На кафедре «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика» МГТУ им. Н.Э. Баумана ведутся исследования, посвященные изучению этих вопросов. Ниже приведены некоторые результаты этих исследований.

Проведение эксперимента и анализ результатов

Рассматривается течение жидкости в плоском щелевидном дроссельном канале, сопровождающееся возникновением кавитационных явлений. Для изучения таких потоков возможно применение теории струй идеальной жидкости. Целью рассматриваемого этапа исследований являлось сопоставление результатов расчёта коэффициента сжатия потока, выполненных на базе теории струй в соответствии с методикой, предложенной профессором С.С. Рудневым, и значений этого коэффициента, полученных экспериментальными методами.

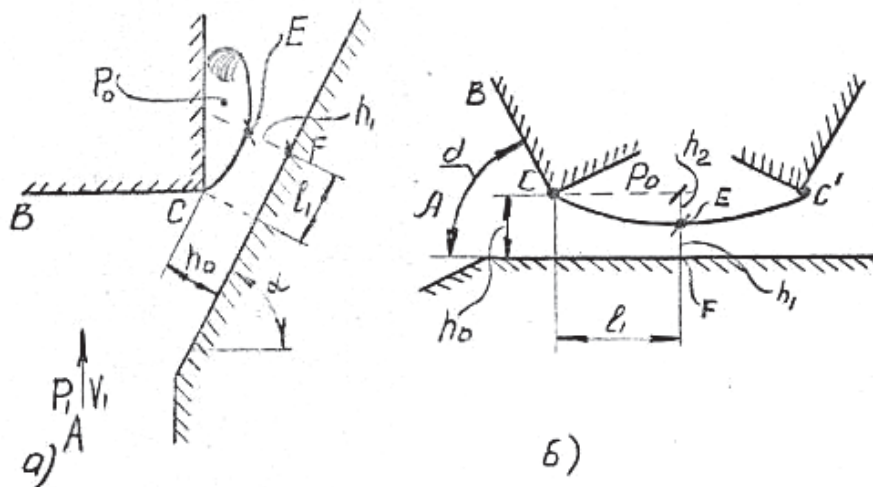


Рисунок 1. Схемы течения жидкости для исследования коэффициента расхода: а) схема течения с образованием замкнутой полости; б) эквивалентная схема

Для исследования коэффициента расхода при схеме течения с образованием замкнутой полости, изображенной на рисунке 1а, перейдем к эквивалентной схеме рисунок 1б.

Аналогичная замена впервые была предложена Рябушинским для исследования обтекания неограниченным потоком жидкости перпендикулярной к нему пластинки с образованием за ней каверны. В соответствии с рисунком 1б форма замкнутой зоны (в плоской задаче) определяется размерами h_1 и l_1 , величиной щели h_0 . Расход на единицу ширины щели – q ; p_1 – давления в области А (в удалении от щели); p_0 – давление в замкнутой полости; V_0 – скорость на границе замкнутой зоны. Кроме этих величин, примем:

- коэффициент сжатия струи:

$$\varepsilon = \frac{h_1}{h_0} \quad (1)$$

- коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{q}{h_0 \cdot V_0} \quad (2)$$

В рассматриваемом случае эти коэффициенты не равны между собой, т.к. в сечении FE (рисунок 1б) скорости неодинаковы, в частности в точке F – $V_F < V_0$, а в точке E – $V_E = V_0$.

Воспользовавшись методами теории струй идеальной жидкости, получим соотношения, позволяющие рассчитать:

- 1) коэффициент сжатия струи:

$$\varepsilon = \frac{h_1}{h_0} = \frac{J_1}{J_1 + J_2} = F_1\left(a, \frac{2\alpha}{\pi}\right);$$

- 2) коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{q}{h_0 \cdot V_0} = \frac{\pi}{2 \cdot a \cdot (1 + a^2) \cdot (J_1 + J_2)} = F_2\left(a, \frac{2\alpha}{\pi}\right),$$

где: q – расход на единицу ширины;

V_0 – скорость на границе замкнутой зоны;

- 3) уравнение, устанавливающее связь формы каверны с параметром расхода «а»:

$$\frac{h_0}{l_1} = \frac{J_1 + J_2}{J_3} = F_0\left(a, \frac{2\alpha}{\pi}\right),$$

где: «а» - вспомогательный параметр, он изменяется в пределах: $0 \leq a \leq 1$.

При этом:

$$J_1 = \int_0^1 \frac{(1 + x^2) \cdot dx}{(x^2 + a^2)^{1 + \frac{\alpha}{\pi}} \cdot (1 + a^2 \cdot x^2)};$$

$$J_2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2 \cdot \cos \delta \cdot \sin\left(\varphi \cdot \frac{2 \cdot \alpha}{\pi}\right) d\delta}{1 + a^4 + 2 \cdot a^2 \cdot \cos \delta};$$

$$J_3 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2 \cdot \cos \delta \cdot \cos\left(\varphi \cdot \frac{2 \cdot \alpha}{\pi}\right) d\delta}{1 + a^4 + 2 \cdot a^2 \cdot \cos \delta};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1 - a^2}{1 + a^2} \cdot \operatorname{tg} \delta.$$

Численный расчет коэффициента сжатия был выполнен по отношению к плоскому дроссельному каналу при угле δ равном 90°.

С целью экспериментальной оценки коэффициента сжатия была изготовлена из орг-

стекла модель плоского щелевидного дроссельного канала (рисунок 2).

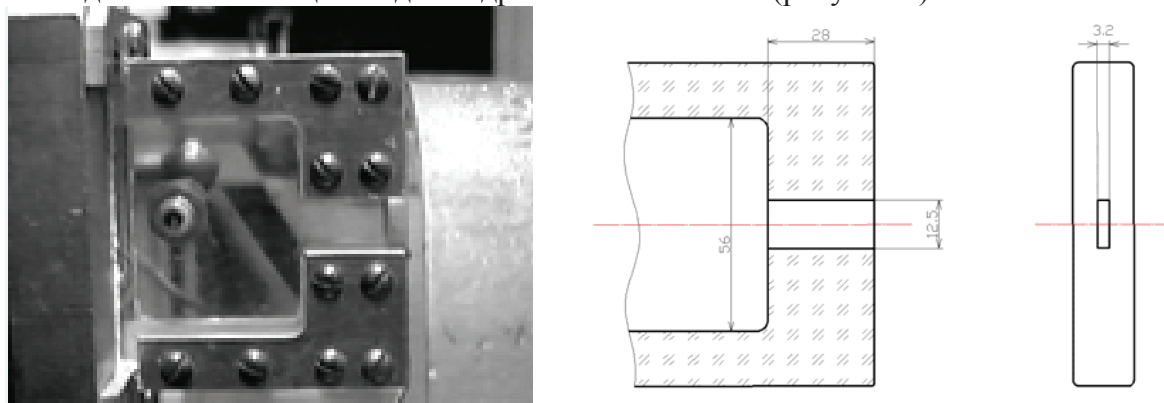


Рисунок 2. Модель плоского щелевидного дроссельного канала

Модель установлена на экспериментальный стенд, позволивший выполнить фотографирование потока в дроссельной щели при протокe через неё жидкости при разных значениях давления на входе (рисунок 3).

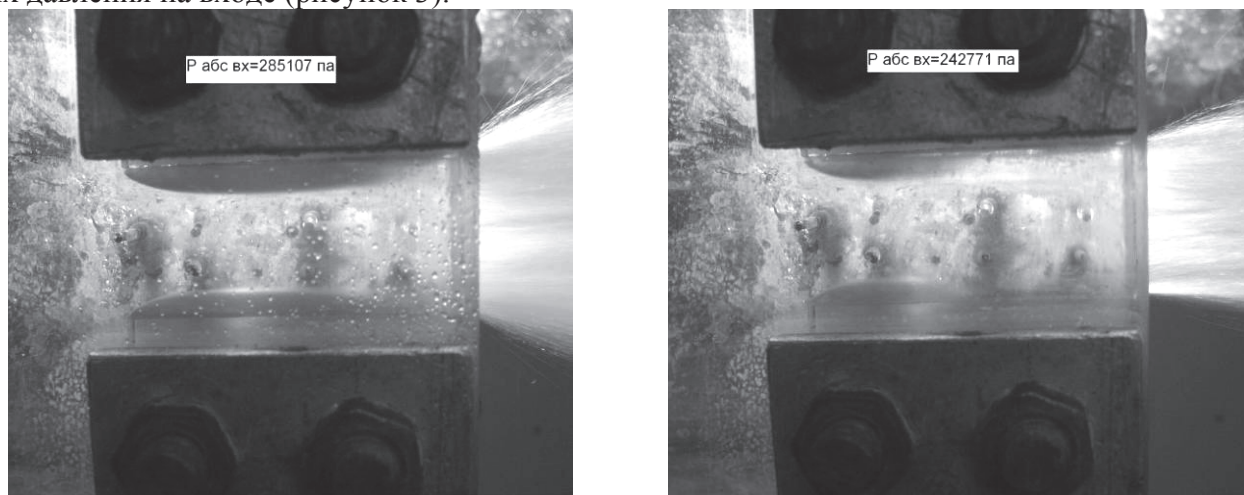


Рисунок 3. Внешний вид потока жидкости в дроссельной щели при разных значениях давления на входе

По фотографиям можно определить геометрические параметры потока в щели, что позволяет установить связь коэффициента сжатия струи и длины каверны в функции от давления на входе в щель.

Затем построили график зависимости коэффициента сжатия от геометрических параметров каверны (h_0/l_1 – рисунок 1), сопоставив на нём экспериментальные и аналитические результаты исследований (рисунок 4).

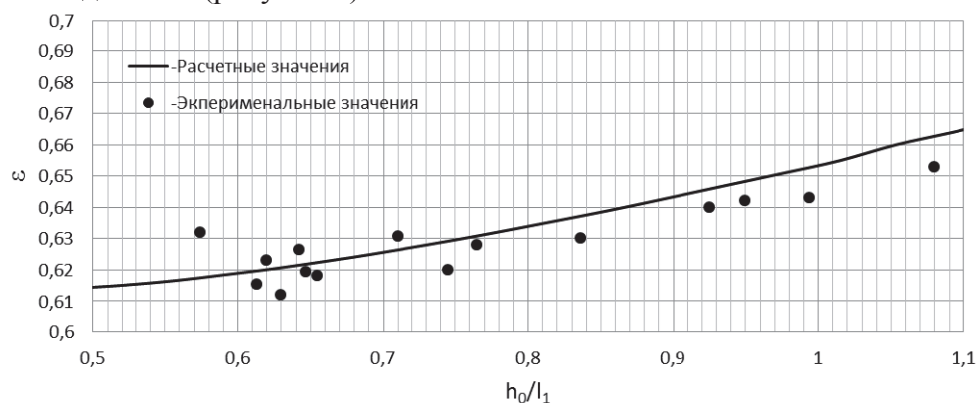


Рисунок 4. Теоретические и экспериментальные результаты исследований

Заключение

1. Результаты аналитических исследований кавитационных течений в дроссельных каналах, выполненных методами теории струй идеальной жидкости, показывают хорошую качественную сходимость с экспериментальными данными.
2. Полученные результаты исследований подтверждают возможность анализа некоторых гидродинамических параметров кавитирующих потоков жидкости в дроссельных каналах элементов систем управления гидроприводами на базе методов теории струй идеальной жидкости.

Литература

1. Ковальчук А.К., Яроц В.В. Инновационные технологии в образовательном процессе / Материалы Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании». Минск, 21-22 мая 2009 г. Мн.: БНТУ, 2009. С. 31-32.
2. Яроц В.В., Шабловский А.С., Кузнецов В.С. Анализ влияния на рабочие характеристики прямоточного регулятора расхода его конструктивных параметров и условий эксплуатации / Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». Инженерный вестник. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. № 1. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/520072.html>.
3. Кузнецов В.С., Шабловский А.С., Трошин Г.А. Экспериментальные исследования гидродинамических параметров потоков жидкости в дроссельных каналах / Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. № 10. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/230378.html>.