

УДК 532.522: 518.5
AGRIS P06

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/67/16>

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИЛОВОГО ИМПУЛЬСНОГО УСТРОЙСТВА

©**Ниязов Н. Т.**, Институт физики им. акад. Ж. Жеенбаева НАН Кыргызской Республики,
г. Бишкек, Кыргызстан, nurniyaz@mail.ru

©**Джаманкызов Н. К.**, д-р физ.-мат. наук, Институт физики им. акад. Ж. Жеенбаева НАН
Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызстан, nasip49@gmail.com

©**Асанов А. А.**, д-р техн. наук, Институт физики им. акад. Ж. Жеенбаева НАН Кыргызской
Республики, г. Бишкек, Кыргызстан, arstan1954@mail.ru

©**Исманов Ю. Х.**, ORCID: 0000-0001-8176-2602, SPIN-код: 1183-7001, д-р физ.-мат. наук,
Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им.
Н. Исанова, г. Бишкек, Кыргызстан, i_yusupjan@mail.ru

FUNDAMENTALS OF THE THEORY OF POWER PULSE DEVICE

©**Niyazov N.**, Institute of Physics named after Zh. Zheenbayev, National Academy of Sciences of the
Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, nurniyaz@mail.ru

©**Dzhamankizov N.**, Dr. habil., Institute of Physics named after Zh. Zheenbayev, National Academy
of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, nasip49@gmail.com

©**Asanov A.**, Dr. habil., Institute of Physics named after Zh. Zheenbayev, National Academy of
Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, arstan1954@mail.ru

©**Ismanov Yu.**, ORCID: 0000-0001-8176-2602, SPIN-code: 1183-7001, Dr. habil.,
Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,
Bishkek, Kyrgyzstan, i_yusupjan@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена математическая модель силового импульсного устройства, которая позволяет подбирать характеристики выбрасываемой струи жидкости, такие как скорость в момент выброса, давление, создаваемое в сопле силового импульсного устройства и др., изменяя параметры устройства. Особенностью предложенной математической модели, существенно отличающей ее от ранее рассмотренных моделей, является то, что модель рассматривалась для случая неустановившегося движения. Такое состояние среды в силовом импульсном устройстве является наиболее характерным, поэтому полученные результаты являются более общими. Показано, что в отличие от установившегося движения жидкости, в случае неустановившегося движения появляется дополнительное слагаемое, которое можно определить как напор, носящий инерционный характер. Из предложенной математической модели видно, что наличие инерционного напора приводит к возникновению эффекта торможения потока, что, в свою очередь, приводит к возрастанию полного напора жидкости в направлении течения потока. Напор, возникающий в стволе, действует против направления гидравлических сопротивлений. Все сказанное применимо лишь для определенного момента времени или для случая, когда ускорение жидкости постоянно. Если же ускорение меняется, то действие напоров вдоль течения жидкости является функцией времени. Это обстоятельство дает возможность применять полученный результат при неустановившемся движении для создания устройств, формирующих струю высокого напора. Отличительной особенностью рассмотренной модели

является то, что здесь анализируется поведение жидкости в силовом импульсном устройстве для двух случаев: 1) объем жидкости в стволе силовой импульсной установки больше, чем объем сопла; 2) объем жидкости в стволе меньше или равен объему сопла. Результаты анализа показали, что в первом случае начальная скорость выброса жидкости значительно превышает эту скорость во втором случае. Т. е. именно первый случай имеет практическое значение.

Abstract. The article discusses a mathematical model of a power impulse device, which allows you to select the characteristics of the ejected liquid jet, such as the velocity at the moment of ejection, the pressure created in the nozzle of the power impulse device, etc., by changing the parameters of the device. A feature of the proposed mathematical model, which significantly distinguishes it from the previously considered models, is that the model was considered for the case of unsteady motion. This state of the medium in a power impulse device is the most characteristic, therefore the results obtained are more general. It is shown that, in contrast to the steady motion of a liquid, in the case of unsteady motion, an additional term appears, which can be defined as a head having an inertial character. It can be seen from the proposed mathematical model that the presence of an inertial head leads to the appearance of a flow deceleration effect, which, in turn, leads to an increase in the total liquid head in the direction of the flow. The pressure generated in the barrel acts against the direction of the hydraulic resistance. All of the above is applicable only for a certain moment in time or for the case when the acceleration of the fluid is constant. If the acceleration changes, then the action of the heads along the fluid flow is a function of time. This circumstance makes it possible to apply the result obtained with unsteady motion to create devices that form a high-pressure jet. A distinctive feature of the considered model is that it analyzes the behavior of the fluid in the power impulse device for two cases: 1. the volume of fluid in the barrel of the power impulse unit is greater than the volume of the nozzle; 2. the volume of fluid in the barrel is less than or equal to the volume of the nozzle. The results of the analysis showed that in the first case, the initial velocity of liquid ejection significantly exceeds this velocity in the second case. That is, it is the first case that is of practical importance.

Ключевые слова: силовое импульсное устройство, сопло, инерционный напор, неустановившееся движение, скорость, давление.

Keywords: power impulse device, nozzle, inertial head, unsteady motion, speed, pressure.

Введение

В настоящее время произошел бурный рост в использовании водоструйных технологий, основанных на применении струй жидкости высокого и сверхвысокого давления, в различных отраслях промышленности. Данные технологии используются для обработки бетонных поверхностей (резка, очистка, углубление), разрушения горных пород и бетонных блоков, упрочнения металлических поверхностей наклепом при ударе струи, очистки корпусов судов от ракушек и старой краски и т. д. Характерной особенностью водоструйных технологий является возможность обработки материалов, существенно различающихся по своим механическим свойствам — пластмассы, кожи, мягких, твердых и хрупких металлов, горных пород и бетонных изделий различной прочности и абразивности. Обработываемым инструментом в этих процессах является, как правило, вода, которая в отличие от других инструментов не тупится и не требует заточки. В этом смысле рассматриваемые технологии

являются универсальными, т. к. не требуют замены рабочего органа при смене обрабатываемого материала [1].

Производительность водоструйных технологий быстро возрастает при увеличении давления воды, поэтому целесообразно использование струй жидкости высокого и сверхвысокого давления. Однако получение стационарных струй с такими параметрами в настоящее время сталкивается с большими техническими трудностями. По этой причине все большее распространение получают пульсирующие и импульсные струи жидкости высокого и сверхвысокого давления, эффективность которых значительно превышает стационарные струи. Формирование струй воды супервысокого давления требует оборудования, создающего высокий напор и использующего неустановившиеся процессы в рабочей жидкости. Например, в гидравлических вибрационных прессах, гидравлических молотах, гидроперфораторах, гидропушках и импульсных водометах создание значительных импульсов является необходимым для обеспечения их основных функций [1–2].

Основные гидродинамические параметры ультраструй — максимальная скорость струи, ее компактность, дальнобойность и коэффициент превышения давления существенно зависят от механизма ускорения жидкости в этих установках. Зависимость этих параметров от формы сопла и других конструктивных факторов гидропушки достаточно подробно исследована в [3–5]. Однако в литературе отмечается, что закономерности получения таких струй и их воздействия на объект обработки еще недостаточно изучены [6–8].

В частности, применение неустановившегося движения в рабочей жидкости для описания процесса формирования высоконапорных струй в литературе практически отсутствуют, за исключением [1]. Поэтому целью настоящей работы является теоретическое исследование процесса преобразования энергии в силовом импульсном устройстве (СИУ) для получения струйных импульсов жидкости, обладающих супервысокой скоростью, этим методом.

Математическая модель СИУ

Рассмотрим задачу аналогичную той, которая рассмотрена в работе [1]. Покажем, что применяемый нами метод на основе неустановившегося движения дает тот же результат, что получен в работе [1]. Схематичное изображение поршневой СИУ приведено на Рисунке 1.

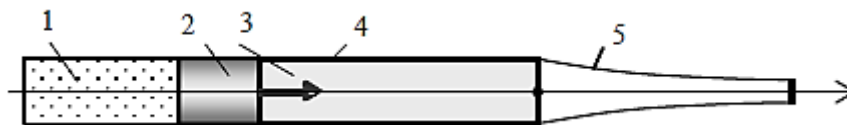


Рисунок 1. СИУ. 1 – ресивер; 2 – поршень; 3 – столб воды; 4 – ствол установки; 5 – сопло

Из рисунка видно, что пар под высоким давлением 1 заставляет двигаться поршень 2 и столб воды перед ним 3 вдоль ствола 4 до определенной скорости. С этой скоростью вода втекает в сужение сопла. Это происходит в тот момент, когда передний фронт водяного столба оказывается у входа в сопло 5. Жидкость в районе переднего фронта получает ускорение. Остальная часть жидкости и поршень, наоборот, притормаживаются. Это означает, что в установке начинается неустановившийся процесс. Поршень и прилежащая к нему жидкость сообщают энергию частицам жидкости, расположенным спереди, что приводит к значительному увеличению их скорости. Смещение жидкости в СИУ можно рассматривать как одномерное, что не сильно влияет на общность рассуждений. Также считаем, что вязкость и сжимаемость жидкости, деформация корпуса пренебрежимо малы.

Для переднего фронта потока жидкости делаем предположение, что он плоский. И, наконец, последнее допущение — не учитываем давление воздуха в сопле.

За начало координат берем начало сопла. Передний фронт жидкости в начальный момент времени располагается именно здесь. По определению неустановившееся движение потока жидкости характеризуется временной зависимостью его параметров — скорости, давления и плотности во всех точках жидкости. В принятой постановке уравнение Бернулли для неустановившегося движения идеальной несжимаемой жидкости в СИУ для двух сечений, проходящих через задний фронт водяного заряда и произвольную точку внутри сопла, можно записать в виде [9–10]:

$$\frac{p_R}{\rho g} + \frac{u_R^2}{2g} = \frac{p}{\rho g} + (1+\xi) \frac{u^2}{2g} + \frac{1}{g} \int_{x_R}^x \frac{\partial u}{\partial t} dx \quad (1)$$

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} u(0,x)=u_0, \quad p(0,x)=0, \quad -L \leq x \leq 0, \quad x_R(0) = -L, \\ x_F(0)=0, \quad u(t, x_R)=u_R, \quad p(t, x_F)=0, \end{aligned} \quad (2)$$

где u , p , ρ — такие важные характеристики элемента жидкости, как скорость, давление, плотность; g — ускорение силы тяжести; x — координата; t — время; u_0 — скорость поршня в начальный момент времени; x_R и x_F — координаты, определяющие положения фронтов водяного заряда — заднего и переднего соответственно; u_R — скорость заднего фронта; L — длина столба воды; L_S — длина сопла. R и F — индексы, характеризующие параметры заднего и переднего фронтов соответственно, ξ — суммарный коэффициент гидравлических сопротивлений, который для данной системы — величина постоянная. Максимальное значение координаты переднего фронта $x_F = L_S$.

При установившемся движении, если между двумя сечениями нет источника энергии (насос и др.), то, благодаря трению, удельная энергия во втором сечении вдоль направлении течения потока жидкости всегда меньше, чем в первом сечении. В отличие от установившегося движения жидкости в случае неустановившегося движения справа появляется дополнительное слагаемое $h_i = \frac{1}{g} \int_{x_R}^x \frac{\partial u}{\partial t} dx$, которое можно определить как напор, носящий инерционный характер. Физическая суть напора, носящего инерционный характер, как видно из соотношения (1), это результат вычитания полных напоров, которые можно рассматривать как суммарные значения энергии жидкости, отнесенные к единице веса жидкости, в произвольных сечениях S_1 и S_2 , в данный момент времени. Эта разность обусловлена отрицательным или положительным значениями ускорения потока жидкости. Положительное ускорение приводит к положительной разности напоров в указанных сечениях. Т. е. полный напор уменьшается в направлении движения потока, что сходно с действием гидравлических сопротивлений на напор. Если ускорение направлено против движения потока, то напор на сечение S_1 становится больше, чем на сечение S_2 . Т. е. эффект торможения потока приводит к возрастанию полного напора жидкости в направлении течения потока. Напор, возникающий в стволе, действует против направления гидравлических сопротивлений. Все сказанное применимо лишь для определенного момента времени или для случая, когда ускорение жидкости постоянно. Если же ускорение меняется, то действие напоров вдоль течения жидкости является функцией времени. Это обстоятельство дает возможность применять инерционный напор при неустановившемся движении для создания установок, формирующих струю высокого напора.

В уравнения неустановившегося движения (1) фигурируют две неизвестные функции — скорость и давление. Ясно, что для определения этих функций необходимо иметь еще одно уравнение. Этим уравнением является уравнение неразрывности, которое, учитывая принятые ограничения (пренебрежение сжимаемостью жидкости и деформируемостью корпуса), имеет вид:

$$\frac{\partial(uF)}{\partial x} = 0. \quad (3)$$

Это означает, что величина uF , представляющая собой расход жидкости, является функцией только времени, т. е. $uF = f(t)$. Отсюда следует, что для любого фиксированного момента времени расход жидкости во всех сечениях потока одинаковый [2]:

$$u_R F_R = u(t, x) F(x) = u_s F_s. \quad (4)$$

s — индекс, характеризующий параметры на выходной кромке сопла. $F = F(x)$ — функция координат, являющаяся площадью поперечного сечения сопла.

Процесс выброса жидкости СИУ можно разделить на два этапа: первый этап, это когда жидкость попадает в сужение сопла, второй этап представляет собой непосредственно выброс порции жидкости из сопла.

Этап втекания жидкости — это начало процесса выброса жидкости СИУ. Данный этап завершается в тот момент, когда передний фронт столба жидкости оказывается у выходной кромки сопла. Как указано выше, процесс втекания водяного заряда в сужающееся сопло сопровождается торможением потока вместе с поршнем. В уравнении, описывающем движение жидкости обязательно надо учесть движение поршня:

$$m_p \dot{u}_p = -p_R F_R, \quad \dot{x}_p = u_p, \quad u_p(0) = u_0, \quad x_p(0) = -L. \quad (5)$$

Здесь $u_p = u_R$, — скорость, сообщенная поршню; $x_p = x_0$ — координата положения поршня; p_R — давление, оказываемое на поршень. Временную производную обозначаем точкой над соответствующей переменной. Выразим из уравнения (1) скорость u через скорость заднего фронта u_R / $u = u_R F_R / F(x)$. Учитывая (5) получим распределение давления вдоль водяного столба:

$$p(t, x) = -\frac{\rho u_R^2}{2} \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi) - \dot{u}_R \left(\frac{m_p}{F_R} + \rho F_R \int_{x_R}^x \frac{dx}{F(x)} \right). \quad (6)$$

Однако надо учитывать, что инерционный напор имеет различный вид в зависимости от того, больше или меньше объем воды в стволе, чем объем воды в сопле на начало истечения. Указанное соотношение объемов зависит от длины сопла.

Случай а). Если объем жидкости больше объема сопла, то на начало истечения поршень находится в стволе и выражение для инерционного напора имеет вид:

$$\rho F_R \int_{x_R}^x \frac{dx}{F(x)} = \rho F_R \left[\int_{x_R}^0 \frac{dx}{F(x)} + \int_0^x \frac{dx}{F(x)} \right] = \rho F_R \left[-\frac{x_R}{F_R} + \int_0^x \frac{dx}{F(x)} \right].$$

В этом случае распределение давления по длине водяного заряда принимает вид:

$$p(t, x) = -\frac{\rho u_R^2}{2} \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi) - \dot{u}_R \left(\frac{m_p}{F_R} - x_R \rho + \rho F_R \int_0^x \frac{dx}{F(x)} \right). \quad (7)$$

Ускорение заднего фронта жидкости \dot{u}_R найдем из выражения (7) с учетом граничного условия на свободной поверхности $p(t, x_F) = 0$:

$$u_R(t, x) = - \frac{\rho F_R u_R^2}{2} \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi) \left[m_p - x_R \rho F_R + \rho F_R^2 \int_0^x \frac{dx}{F(x)} \right]^{-1} \quad (8)$$

Приведенные формулы полностью описывают втекание жидкости в сопло СИУ и дают распределение скоростей и давлений по длине водяного заряда в разные моменты времени или положения переднего фронта в зависимости от величины водяного заряда. Поршень и прилежащая к нему жидкость сообщают энергию частицам жидкости, расположенным спереди, что приводит к значительному увеличению их скорости.

Выход струи из сопла приводит к уменьшению массы и энергии жидкости в СИУ. Обозначим момент выхода струи из сопла t_0 . Рассмотрим произвольный момент времени, удовлетворяющий условию $t > t_0$. К этому моменту сопло покидают жидкость массой Δm и энергия ΔE . Принимая во внимание соотношение $u_R(t, x) = u_R \frac{du_R}{dx_R}$, получаем из уравнения (8):

$$\frac{du_R}{\frac{1}{2} u_R \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi)} = \frac{dx_R}{m_p - x_R \rho F_R + \rho F_R^2 \int_0^{x_F} \frac{dx}{F(x)}} \quad (9)$$

Далее, делая замены переменных:

$$k_1 = m_p + \rho F_R^2 \int_0^{x_F} \frac{dx}{F(x)}, \text{ и } k_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi). \quad (10)$$

Принимая во внимание начальные условия на момент выброса жидкости из ствола, получаем, после интегрирования соотношения (9), выражение для скорости заднего фронта жидкости как функцию координаты:

$$u_R = u_{R_0} \left(\frac{k_1 - \rho F_R x_R}{k_1 - \rho F_R x_{R_0}} \right)^{k_2} \quad (11)$$

Здесь x_{R_0} и u_{R_0} — координата и скорость заднего фронта на начало выброса жидкости из ствола, которые рассчитываются на основе законов сохранения массы и энергии в момент завершения втекания. Когда передний фронт водяного заряда доходит до среза сопла, его задний фронт сдвинется на расстояние x_{R_0} , значение которого можно определить из закона сохранения массы

$$m = \rho F_R x_{R_0} + \rho \int_0^{x_F} F(x) dx.$$

Отсюда:

$$x_{R_0} = \frac{m}{\rho F_R} - \frac{1}{F_R} \int_0^{x_F} F(x) dx. \quad (12)$$

Скорость в этой точке получим из закона сохранения энергии:

$$u_{R_0} = \sqrt{\frac{(m + m_p) u_0^2}{m_p - \rho F_R x_{R_0} + \rho F_R^2 \int_0^{x_F} \frac{dx}{F(x)}}} \quad (13)$$

Знание этих выражений позволяет находить значение момента времени t_0 , при котором начинается истечение:

$$t_0 = \frac{x_{R_0}}{u_{R_0}} \quad (14)$$

Соотношение, представляющее собой временную зависимость положения заднего фронта x_R на этапе испускания жидкости из сопла, получаем, проинтегрировав уравнение (11), и так как $u_R = \frac{dx_R}{dt}$

$$t = t_0 + \frac{(m+m_p)u_0^2}{(k_2-1)\rho F_R u_{R0}^3} \left[\left(\frac{k_1 - \rho F_R x_R}{k_1 - \rho F_R x_{R0}} \right)^{k_2-1} - 1 \right]. \quad (15)$$

Здесь учтено, что $k_1 - \rho F_R x_{R0} = (m + m_p)u_0^2 / u_{R0}^2$.

Из выражений (15) и (11) получаем соотношения, показывающие зависимости координаты и скорости заднего фронта от времени:

$$x_R = \frac{k_1}{\rho F_R} - \frac{k_1 - \rho F_R x_{R0}}{\rho F_R \left[1 + \frac{(k_2-1)\rho F_R u_{R0}^3}{(m+m_p)u_0^2} (t - t_0) \right]^{\frac{1}{k_2-1}}}; \quad (16)$$

$$u_R = u_{R0} \left[1 + \frac{(k_2-1)\rho F_R u_{R0}^3}{(m+m_p)u_0^2} (t - t_0) \right]^{-\frac{k_2}{k_2-1}}. \quad (17)$$

Для скорости выброса жидкости из ствола получаем:

$$u_s = u_R \frac{F_R}{F_S} = u_{R0} \left[1 + \frac{(k_2-1)\rho F_R u_{R0}^3}{(m+m_p)u_0^2} (t - t_0) \right]^{-\frac{k_2}{k_2-1}} \frac{F_R}{F_S}. \quad (18)$$

Как видно из этих соотношений, скорость выброса жидкости из ствола в $k_F = \frac{F_R}{F_S}$ раз превышает поршневую скорость. В начальный момент выброса жидкости из ствола СИУ скорость выброса максимальна и равна:

$$u_{s\max} = k_F u_{R0}. \quad (19)$$

Важной особенностью выброса является то, что скорость выброса сильно ослабевает со временем.

Случай б). Если объем жидкости в стволе меньше или равен объему сопла, то на начало истечения поршень остановится у входа в сопло, а вся жидкость окажется внутри сопла. В этом случае инерционный напор $\rho F_R \int_{x_R}^x \frac{dx}{F(x)}$ можно записать в виде

$$\rho F_R \int_0^x \frac{dx}{F(x)}.$$

Здесь учитывается, что координата заднего фронта водяного заряда $x_R=0$. Уравнения (7) и (8) в этом случае принимают вид:

$$p(t, x) = -\frac{\rho u_R^2}{2} \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi) - \dot{u}_R \rho F_R^2 \int_0^x \frac{dx}{F(x)} \quad (20)$$

и, с учетом граничного условия на свободной поверхности $p(t, x_F) = 0$,

$$\dot{u}_R(t, x) = -\frac{\rho F_R u_R^2}{2} \left(\frac{F_R^2}{F(x)^2} - 1 \right) (1 + \xi) \left[\rho F_R^2 \int_0^x \frac{dx}{F(x)} \right]^{-1}. \quad (21)$$

После интегрирования (21) по времени получаем зависимость скорости заднего фронта от времени:

$$u_R = \frac{u_{R0}}{1 + \frac{u_{R0} k_2}{k} \rho F_R (t - t_0)}, \quad (22)$$

$$\text{где } k = m_p + \rho F_R^2 \int_0^{x_F} \frac{dx}{F(x)}. \quad (23)$$

Здесь $u_{R0} = \sqrt{\frac{(m+m_p)u_0^2}{m_p + \rho F_R^2 \int_0^{x_F} \frac{dx}{F(x)}}$, и его можно определить из закона сохранения энергии. Это

значение скорости заднего фронта водяного заряда в цилиндрическом стволе в момент времени, когда жидкость начинает вытекать в сопло. В конце вытекания вся жидкость находится в сопле, но истечения жидкости еще нет. Исходя из сказанного, получаем для времени разгона водяного заряда в сопле следующее соотношение $t_0 = L/u_{R0}$.

Соотношение для зависимости скорости истечения жидкости от времени в рассматриваемом случае имеет вид:

$$u_s = u_R \frac{F_R}{F_S} = \frac{u_{R0}}{1 + \frac{u_{R0} k_2}{k} \rho F_R (t - t_0)} \frac{F_R}{F_S}. \quad (24)$$

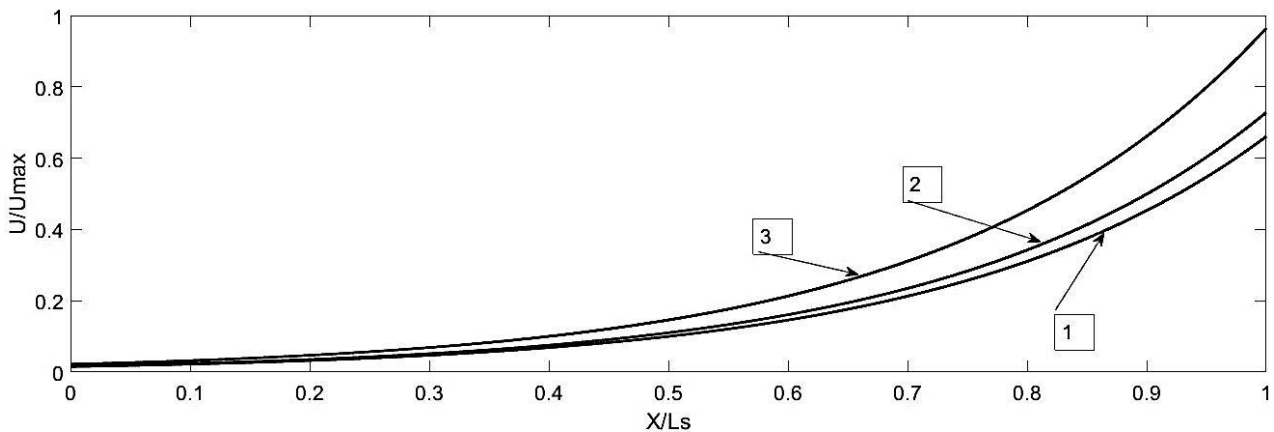


Рисунок 2. Зависимость скорости жидкости от координаты в стволе СИУ на момент начала выброса жидкости. 1-раствор без глины; 2-раствор с глиной; 3-вода

На Рисунке 2 представлены графики зависимости скорости жидкости от координаты вдоль столба жидкости в стволе СИУ. Графики построены для момента времени, когда начинается испускание жидкости через сопло.

На Рисунках 3 и 4 представлены зависимости скоростей истечения жидкости из сопла СИУ для двух случаев: 1. объем жидкости в стволе превышает объем сопла; 2. объем жидкости в стволе меньше или равен объему сопла. Как видно из рисунков в первом случае начальная скорость выброса жидкости превышает начальную скорость во втором случае больше, чем в два раза, а время выброса меньше в первом случае, чем во втором приблизительно в 15 раз. Полученные результаты объясняются тем, что во втором случае, после достижения среза сопла передним фронтом жидкости, вся жидкость оказывается в сопле, и воздействие такого силового фактора, как поршень, отсутствует. В первом случае, даже при полном заполнении сопла жидкостью, часть жидкости остается в стволе, что приводит к продолжающемуся воздействию поршня на жидкость.

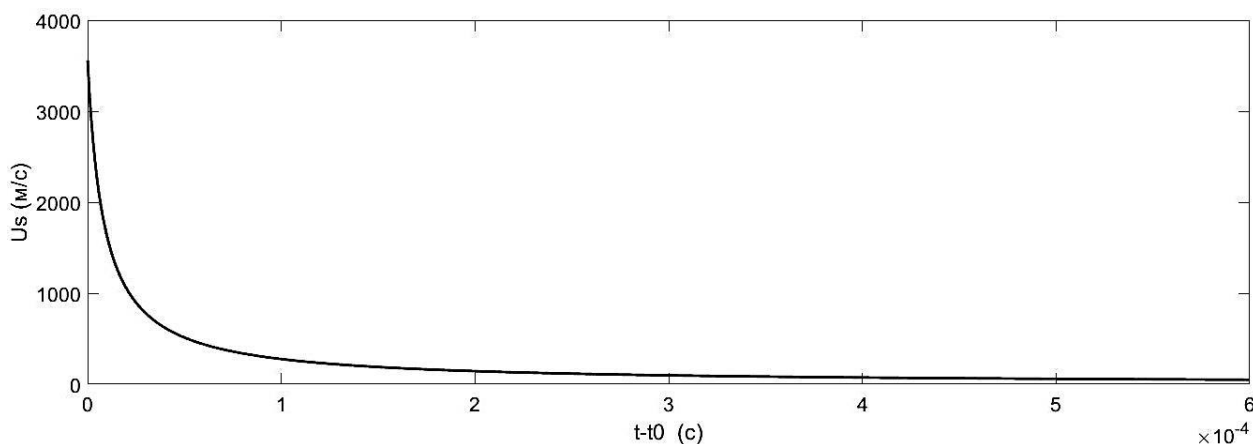


Рисунок 3. Зависимость скорости истечения жидкости из сопла для случая, когда объем жидкости превышает объем сопла

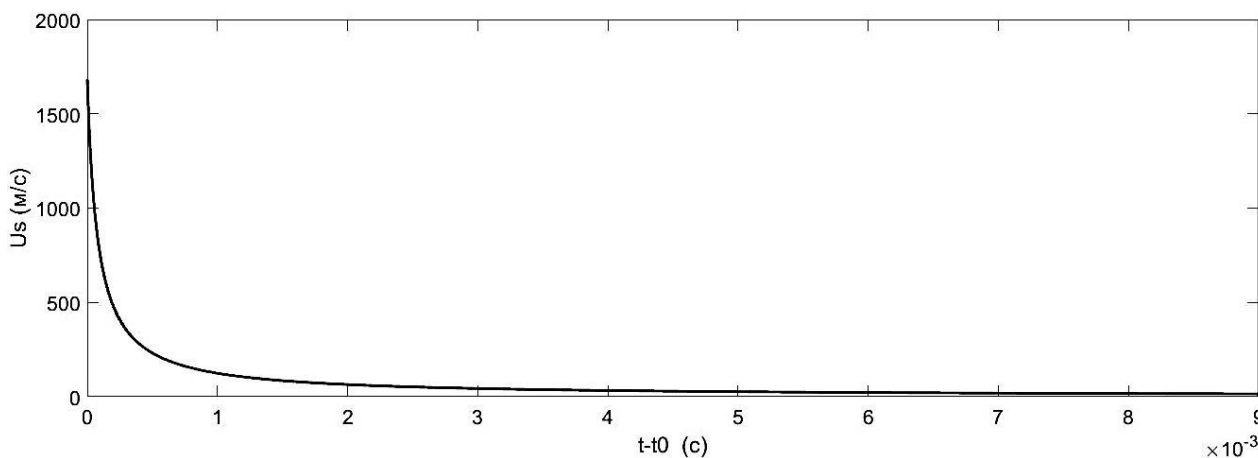


Рисунок 4. Зависимость скорости истечения жидкости из сопла для случая, когда объем жидкости меньше или равен объему сопла

Выводы

Разработана математическая модель силовой импульсной установки, которая позволяет подбирать характеристики выбрасываемой струи жидкости, такие как скорость в момент выброса, давление, создаваемое в сопле силовой импульсной установки и др., изменяя параметры установки. Особенностью предложенной математической модели, существенно отличающей ее от ранее рассмотренных моделей, является то, что модель рассматривалась для случая неустановившегося движения. Такое состояние среды в силовой импульсной установке является наиболее характерным, поэтому полученные результаты являются более общими. Показано, что в отличие от установившегося движения жидкости в случае неустановившегося движения появляется дополнительное слагаемое, которое можно определить как напор, носящий инерционный характер. Физическая суть напора, носящего инерционный характер, это результат вычитания полных напоров, которые можно рассматривать как суммарные значения энергии жидкости, отнесенные к единице веса жидкости, в произвольных сечениях S_1 и S_2 , в данный момент времени. Эта разность обусловлена отрицательным или положительным значениями ускорения потока жидкости. Положительное ускорение приводит к положительной разности напоров в указанных сечениях. Т. е. полный напор уменьшается в направлении движения потока, что сходно с действием гидравлических сопротивлений на напор. Если ускорение направлено против

движения потока, то напор на сечение S_1 становится больше, чем на сечение S_2 . Т. е. эффект торможения потока приводит к возрастанию полного напора жидкости в направлении течения потока. Напор, возникающий в стволе, действует против направления гидравлических сопротивлений. Все сказанное применимо лишь для определенного момента времени или для случая, когда ускорение жидкости постоянно. Если же ускорение меняется, то действие напоров вдоль течения жидкости является функцией времени. Это обстоятельство дает возможность применять полученный результат при неустановившемся движении для создания установок, формирующих струю высокого напора.

Важным моментом предложенной модели является то, что в ней были рассмотрены два случая: 1. объем жидкости в стволе превышает объем сопла; 2. объем жидкости в стволе меньше или равен объему сопла. Анализ показал, что в первом случае начальная скорость выброса жидкости значительно превышает начальную скорость во втором случае и, поэтому этот случай имеет практическое значение.

Список литературы:

1. Атанов Г. А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород. Киев: Вища школа, 1987. 155 с.
2. Семко А. Н. Импульсные струи жидкости высокой скорости и их применение. Донецк, 2014. 149 с.
3. Gmelin C., Zander V., Hecklau M., Thiele F., Nitsche W., Huppertz A., Swoboda M. Active flow control concepts on a highly loaded subsonic compressor cascade: résumé of experimental and numerical results // Journal of turbomachinery. 2012. V. 134. №6. <https://doi.org/10.1115/1.4006308>
4. Kirtley K. R., Graziosi P., Wood P., Beacher B., Shin H. W. Design and test of an ultralow solidity flow-controlled compressor stator. 2005. <https://doi.org/10.1115/1.1860374>
5. Овсепян В. М. Гидравлический таран и таранные установки. М.: Машиностроение, 1968. 173 с.
6. Новиков С. Г., Глаголев Р. В., Зайцев С. А. Некоторые аспекты применения гидродинамического эффекта получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи жидкости // Актуальные проблемы общества, науки и образования: современное состояние и перспективы развития: материалы III международной научно-практической конференции. М.: Перо, 2016. С. 283-287
7. Hecklau M., Wiederhold O., Zander V., King R., Nitsche W., Huppertz A., Swoboda M. Active separation control with pulsed jets in a critically loaded compressor cascade // AIAA journal. 2011. V. 49. №8. P. 1729-1739. <https://doi.org/10.2514/1.J050931>
8. De Luca L., Girfoglio M., Chiatto M., Coppola G. Scaling properties of resonant cavities driven by piezo-electric actuators // Sensors and Actuators A: Physical. 2016. V. 247. P. 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.06.016>
9. Dzhamankyzov N. K., Ismanov Y. K., Zhumaliev K. M., Alymkulov S. A. Estimation of optimal hologram recording modes on photothermal materials // Optical Engineering. 2018. V. 57. №1. P. 017113. <https://doi.org/10.1117/1.OE.57.1.017113>
10. Dzhamankyzov N. K., Ismanov Y. K. Temperature modes of development of holograms recorded on photothermoplastic media heated by laser radiation // Optical Engineering. 2018. V. 57. №6. P. 067103. <https://doi.org/10.1117/1.OE.57.6.067103>

References:

1. Atanov, G. A. (1987). *Gidroimpul'snye ustanovki dlya razrusheniya gornyykh porod*. Kiev. (in Russian).
2. Semko, A. N. (2014). *Impul'snye strui zhidkosti vysokoi skorosti i ikh primeneniye*. Donetsk. (in Russian).
3. Gmelin, C., Zander, V., Hecklau, M., Thiele, F., Nitsche, W., Huppertz, A., & Swoboda, M. (2012). Active flow control concepts on a highly loaded subsonic compressor cascade: résumé of experimental and numerical results. *Journal of turbomachinery*, 134(6). <https://doi.org/10.1115/1.4006308>
4. Kirtley, K. R., Graziosi, P., Wood, P., Beacher, B., & Shin, H. W. (2005). Design and test of an ultralow solidity flow-controlled compressor stator. <https://doi.org/10.1115/1.1860374>
5. Ovsepyan, V. M. (1968). *Gidravlicheskiy taran i tarannye ustanovki*. Moscow. (in Russian).
6. Novikov, S. G., Glagolev, R. V., & Zaitsev, S. A. (2016). Nekotorye aspekty primeneniya gidrodinamicheskogo effekta polucheniya sverkhvysokikh davlenii i bol'shikh skorostei strui zhidkosti. *Aktual'nye problemy obshchestva, nauki i obrazovaniya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow. 283-287
7. Hecklau, M., Wiederhold, O., Zander, V., King, R., Nitsche, W., Huppertz, A., & Swoboda, M. (2011). Active separation control with pulsed jets in a critically loaded compressor cascade. *AIAA journal*, 49(8), 1729-1739. <https://doi.org/10.2514/1.J050931>
8. De Luca, L., Girfoglio, M., Chiatto, M., & Coppola, G. (2016). Scaling properties of resonant cavities driven by piezo-electric actuators. *Sensors and Actuators A: Physical*, 247, 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.06.016>
9. Dzhamankyzov, N. K., Ismanov, Y. K., Zhumaliev, K. M., & Alymkulov, S. A. (2018). Estimation of optimal hologram recording modes on photothermal materials. *Optical Engineering*, 57(1), 017113. <https://doi.org/10.1117/1.OE.57.1.017113>
10. Dzhamankyzov, N. K., & Ismanov, Y. K. (2018). Temperature modes of development of holograms recorded on photothermoplastic media heated by laser radiation. *Optical Engineering*, 57(6), 067103. <https://doi.org/10.1117/1.OE.57.6.067103>

*Работа поступила
в редакцию 06.05.2021 г.*

*Принята к публикации
11.05.2021 г.*

Ссылка для цитирования:

Ниязов Н. Т., Джаманкызов Н. К., Асанов А. А., Исманов Ю. Х. Основы теории силового импульсного устройства // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №6. С. 113-123. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/67/16>

Cite as (APA):

Niyazov, N., Dzhamankizov, N., Asanov, A., & Ismanov, Yu. (2021). Fundamentals of the Theory of Power Pulse Device. *Bulletin of Science and Practice*, 7(6), 113-123. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/67/16>