

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ В СТВОЛЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОДОМЕТА

Канд. техн. наук, доц. АКСЕНТЬЕВ С. Т.

*Севастопольский государственный технический университет*

Одна из актуальных задач современной энергетики — создание технических устройств с высокой степенью реализации потенциальных возможностей исходного источника энергии (рабочего тела).

В последние годы отмечается повышенный интерес к системам импульсного метания жидкостей. Их основным достоинством является высокая энергетическая эффективность прицельной доставки определенной массы жидкости в заданную точку пространства. Они могут использоваться в: электроэнергетике (очистка изоляторов ЛЭП); судоремонте (очистка корпусов судов при доковании от остатков нефтепродуктов или сыпучих грузов); пожарном деле (мобильные импульсные водометы); горнодобывающей промышленности (дробление импульсными струями горных пород); сельском хозяйстве (импульсные дождевальные и опрыскивающие агрегаты).

Для оценки энергетических характеристик (силы удара о преграду  $R_{уд}$  и импульса  $I_{ст}$ ) летящей жидкой струи необходимо знать закон изменения давления в стволе водомета  $p_ж(\tau)$  в процессе метания. Эта задача может быть решена экспериментально-теоретическим путем.

В специальных опытах [1] было установлено, что независимо от способа вытеснения жидкости (поршневое или беспоршневое) решающее влияние на закон изменения  $p_ж(\tau)$  оказывают: суммарная степень сужения внутренних каналов камеры и ствола водомета  $\varepsilon_\Sigma = F_c/F_k$ , где  $F_c$  и  $F_k$  — соответственно площади поперечных сечений сопла и камеры;  $p_0$  — начальное давление выталкивающего газа (рабочего тела) и  $m_{20}$  — начальная масса метаемого вещества.

С учетом этого была поставлена задача: экспериментально-теоретическим путем получить уравнения, описывающие закон изменения давления в стволе импульсного водомета  $p_ж(\tau) = f(p_0, \varepsilon_\Sigma, m_{20})$  в процессе метания жидкости.

Задача решалась на экспериментальной установке специального испытательного стенда [2], схема которой представлена на рис. 1.

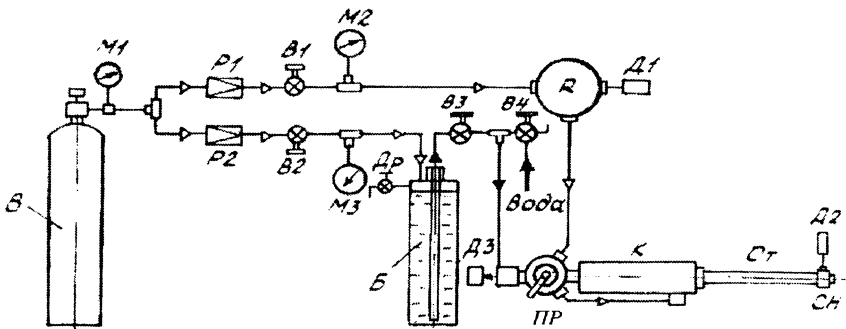


Рис. 1

Установка включает: баллон В объемом 40 л с воздухом давлением 15 МПа; водяной бак Б объемом 150 л; воздушный ресивер R объемом 7 л с рабочим давлением воздуха 2,5...7,5 МПа; водомет (камера К, объемом 1,8 л, ствол Ст переменной длины, с набором сопловых насадок СН различной конструкции); регулирующие (Р1, Р2, РР) и запорную (В1, В2, В3, В4 и ДР) арматуры, показывающие образцовые пружинные манометры (М1, М2, М3) класса 0,4; тензометрические датчики давления (Д1, Д2, Д3) типа ЛХ-415/10. Электрические сигналы датчиков усиливались тензостанцией ЛХ-7000 и фиксировались на ленту светолучевого осциллографа НО85 с предельными относительными погрешностями: измерения давлений  $\delta p \leq \pm 0,8 \%$ ; определения времени протекания процессов  $\delta t \leq \pm 1,8 \%$ ; регистрации электрических сигналов гальванометрами НО85  $\delta g \leq \pm 1,0 \%$ . Диаметры сопловых насадок и камеры водомета измеряли штангенциркулем ШЦ-III с допустимой погрешностью отсчета по нониусу  $\Delta = \pm 0,2$  мм. Начальную массу жидкости  $m_{20}$  определяли объемным методом с относительной погрешностью не более  $\delta_m \leq \pm 2,0 \%$ .

На рис. 2 представлены типовые схемы осциллограмм записи давления  $p_{ж}(\tau)$  для беспоршневого (а) и поршневого (б) способов метания.

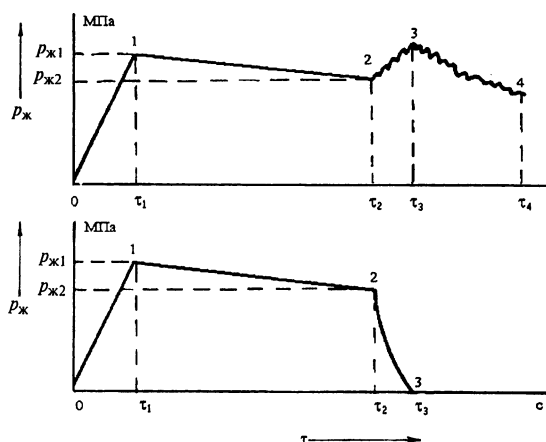


Рис. 2

Опыты показали практически полную идентичность изменения давления  $p_{ж}(\tau)$  на участках 0–1 и 1–2 в обоих случаях. Однако при беспоршневом способе (рис. 2а) в точке 2 закон  $p_{ж}(\tau)$  претерпевает существенное изменение (точки 2–3–4). В опытах [3] было установлено, что после выброса примерно 70 % исходной массы жидкости происходит прорыв выталкивающего газа в ствол, разрыв сплошности течения жидкости и переход от режима метания компактной струи к режиму дисперсно-капельного распыла. Для повышения энергетической эффективности работы водомета было рекомендовано предусмотреть в конструкции отсечку подачи жидкости в ствол и рабочего тела в камеру в момент наступления дисперсно-капельного режима.

При поршневом метании подобный режим не реализуется, поскольку выталкиваемая жидкость и рабочее тело (газ) разделены поршнем. В этом случае точка 2 на осциллограмме фиксирует момент окончания метания, а кривая 2–3 характеризует спад давления в стволе до давления окружающей среды, в которую происходит выброс жидкости.

В общем виде уравнения, описывающие закон изменения давления  $p_{ж}(\tau)$  для участка 0–1, выхода водомета на режим, можно представить в виде

$$p_{ж}(\tau) = k_1 \tau, \quad (1)$$

где  $\tau$  изменяется от 0 до  $\tau_1$ ,

а для участка 1–2, квазиустановившегося режима метания, –

$$p_{ж}(\tau) = p_{ж1} - k_1 \frac{1 - \varphi_p}{\varphi_\tau - 1} (\tau_{ж} - \tau_1), \quad (2)$$

где  $p_{ж1}$  – максимальное давление жидкости в стволе перед сопловой насадкой в момент времени  $\tau_1$ ;  $k_1 = \frac{p_{ж1}}{\tau_1}$  – параметр, характеризующий

скорость нарастания давления жидкости в стволе, МПа/с;  $\varphi_p = \frac{p_{ж2}}{p_{ж1}}$  –

параметр, характеризующий падение давления жидкости в стволе перед сопловой насадкой в момент окончания метания;  $\varphi_\tau = \frac{\tau_2}{\tau_1}$  – относи-

тельный интервал времени квазиустановившегося режима метания;  $\tau_2$  – время окончания квазиустановившегося режима метания;  $\tau_{ж}$  – текущее время ( $\tau_1 \leq \tau_{ж} \leq \tau_2$ ).

Обработка результатов опытов позволила получить обобщающие уравнения для расчета:

параметра  $k_1$  –

$$k_1 = 5,8 p_0 (1 + 0,2 p_0) + 1,38 p_0 \varepsilon_\Sigma^{-0,5}; \quad (3)$$

параметров  $\varphi_\tau$ ,  $\varphi_p$  и  $\tau_1$  –

$$\varphi_\tau = 40 m_{20}^2 (0,53 m_{20} - 1) + 0,45 (42,1 m_{20} - 1) + 0,038 \varepsilon_\Sigma^{-1,17}; \quad (4)$$

$$\varphi_p = 1 - 0,001 p_0^3 + 0,0131 p_0^2 - 0,057 p_0 - 2812 \varepsilon_\Sigma^3 + 245 \varepsilon_\Sigma^2 - 7,57 \varepsilon_\Sigma; \quad (5)$$

$$\tau_1 = 0,002 p_0 (1 - 0,25 p_0) + 0,03 (m_{20} + \varepsilon_\Sigma^{0,5}). \quad (6)$$

Формулы (3)...(6) дают хорошие результаты для диапазона значений:  $0,015 \leq \varepsilon_\Sigma \leq 0,035$ ;  $2,5 \text{ МПа} \leq p_0 \leq 7,5 \text{ МПа}$ ;  $0,75 \text{ кг} \leq m_{20} \leq 2,5 \text{ кг}$ .

Величина максимального давления жидкости в стволе водомета  $p_{ж1}$  определяет динамические возможности выбрасываемой струи. После анализа результатов опытов получена аналитическая связь между  $p_{ж1}$  и  $p_0$

$$p_{ж1} = 1,2 p_0 [1 - 24,14 \varepsilon_\Sigma (1 + 144 \varepsilon_\Sigma^2 - 20,8 \varepsilon_\Sigma)] \exp(-2,9 \varepsilon_\Sigma). \quad (7)$$

Используя формулы (6) и (7), можно определить координаты (рис. 2) точки 1 на кривой  $p_{ж}(\tau)$ .

Зависимость времени окончания метания  $\tau_2$  от  $p_0$ ,  $\varepsilon_\Sigma$  и  $m_{20}$  может быть представлена уравнением

$$\tau_2 = 0,08 m_{20} (1 - 0,54 m_{20}) - 0,09 [1 + 0,4 \text{Ln}(\varepsilon_\Sigma)] + 0,012 p_0 (1 - 0,146 p_0). \quad (8)$$

Давление жидкости в стволе  $p_{ж2}$  в момент времени  $\tau_2$  равно

$$p_{ж2} = \varphi_p p_{ж1}. \quad (9)$$

Таким образом, задача нахождения момента окончания квазиустановившегося режима метания (точка 2 на рис. 2) тоже становится определенной. В качестве иллюстрации на рис. 3 представлены результаты расчетов по уравнениям (1)...(9) давления  $p_{ж}(\tau)$  при  $m_{20} = 1,5$  кг,  $\epsilon_{\Sigma} = 0,022$  для различных начальных давлений  $p_0$ , там же показаны экспериментальные точки.

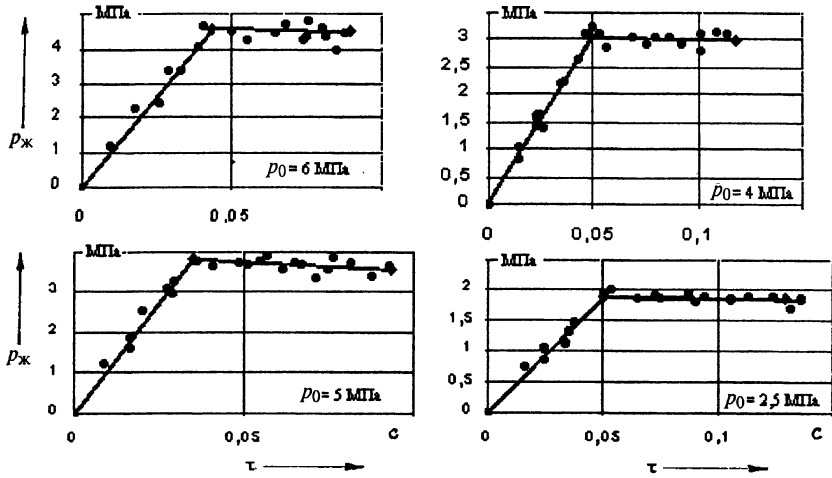


Рис. 3. Закон изменения давления жидкости в стволе водомета:  
 • — эксперимент; — — результаты расчетов

Как видно, теоретические значения  $p_{ж}(\tau)$  вполне удовлетворительно ( $R \geq 0,95$ ) согласуются [4] с результатами эксперимента.

### ВЫВОДЫ

1. Полученные уравнения, описывающие закономерность изменения давления жидкости  $p_{ж}(\tau)$  в стволе импульсного водомета, при различных значениях  $\epsilon_{\Sigma}$ ,  $p_0$  и  $m_{20}$  позволяют на стадии проектирования оценить энергетические возможности жидкой импульсной струи и при необходимости внести соответствующие коррективы в конструкцию.

2. Задача нахождения  $p_{ж}(\tau)$  решена экспериментально-теоретическим методом с учетом влияния начального давления газа  $p_0$  в ресивере водомета и его массогабаритных характеристик  $m_{20}$  и  $\epsilon_{\Sigma}$  на параметры  $k_1$ ,  $\varphi_p$  и  $\varphi_{\tau}$ .

3. Сравнительный анализ расчетных значений  $p_{ж}(\tau)$  с данными эксперимента выявил их вполне удовлетворительное совпадение ( $R \geq 0,95$ ).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксентьев С. Т. Оптимизация процессов метания из импульсных водометов // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь: Сев. ГТУ, 1999. — Вып. 2. — С. 169–172.
2. Аксентьев С. Т., Новосад А. П. Экспериментальный стенд для исследования характеристик импульсных жидких струй // Вестник Сев. ГТУ: Сб. науч. тр. — Севастополь, 1999. — Вып. 16. — С. 92–96.
3. Аксентьев С. Т. Остаточная масса жидкости в камере импульсного водомета при газодинамическом способе метания // Прикладные проблемы механики жидкости и газа: Материалы VIII международной науч.-техн. конференции ученых Украины, России, Белоруссии, 20–24 сентября 1999 г. — Севастополь: Сев. ГТУ, 1999. — С. 90–92.
4. Румшиский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента: Справ. пособие. — М.: Наука, 1971. — 192 с.

Представлена советом  
 факультета морских  
 технологий и судоходства

Поступила 6.06.2000