

УДК 621.527.4

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТРУЙНОГО ВОДОВОЗДУШНОГО НАСОСА ЗА СЧЕТ ОРГАНИЗАЦИИ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ПОДАЧИ ВОДЫ

К.А. ЗИНЬКЕВИЧ

(ОАО «Нафтан»);

канд. техн. наук, доц. Е.М. ШЕСТОПАЛОВ

(Полоцкий государственный университет)

*Получена упрощенная математическая модель влияния подачи воды в пульсационном режиме на производительность струйного водовоздушного насоса. На основе численного эксперимента показано, что пульсационный режим подачи воды позволяет увеличить производительность насоса по воздуху. Проанализировано влияние частотных характеристик пульсации на производительность насоса.*

**Введение.** Струйные насосы широко применяются в технике, например для создания вакуума путем откачки образующихся паров. При этом они имеют как существенные достоинства – отсутствие движущихся частей, так и существенные недостатки – низкая эффективность [1]. Работы по изучению струйных насосов начались давно и продолжаются по настоящее время [2].

Традиционно водовоздушные насосы работают за счет захвата и уноса воздуха поверхностью воды. В технической литературе часто приводят результаты исследования влияния конструктивных факторов на производительность насоса [3]. Известны использование плоских струй жидкости [4], а также разные способы диспергирования воды в камере смешения, что, по мнению авторов [5; 6], также увеличивает производительность.

В патентной литературе описаны конструкции водовоздушных струйных насосов, в которых предлагается организовывать движение воды в камере смешения в виде жидкостных поршней, разделенных засасываемым воздухом [7; 8]. Такая организация работы струйного насоса нам кажется весьма перспективной, так как воздух будет захватываться как при помощи классического способа, приликая к поверхности воды, так и засасываться в камеру смешения в разрыве между жидкими поршнями. Таким образом, производительность насоса будет увеличена на объем воздушных пузырей, перемещаемых между поршнями жидкости. Однако нам не удалось найти в литературе результатов исследований, которые бы подтверждали или опровергали возможность повышения производительности струйного насоса при поршневом движении жидкости.

Данная работа посвящена численному анализу возможностей увеличения эффективности струйного водовоздушного насоса за счет организации движения жидкости в виде поршней, между которыми движутся пузыри захватываемого (засасываемого) воздуха. Влияние конструктивных факторов (соотношение размеров внутри насоса) на данном этапе учитывать не будем.

**Влияние частотных характеристик поршневого движения воды на производительность насоса.** Пусть за счет внешнего воздействия жидкость попадает в камеру смешения в виде чередующихся поршней. При этом во время, когда жидкость перестает попадать в камеру смешения, ранее сформированные поршни продолжают перемещаться вниз по инерции и в освободившееся место засасывается воздух (рис. 1).

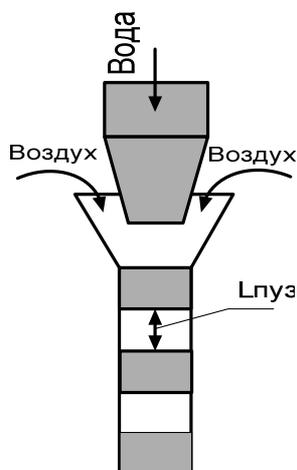


Рис. 1. Схема работы струйного насоса с поршневым движением жидкости

При проведении анализа влияния пульсаций на производительность насоса по воздуху будем использовать следующие допущения:

- 1) эллипсоидные формы реальных пузырей, движущихся в камере смешения, будем представлять цилиндрами с плоской нижней и верхней поверхностью (белые прямоугольники). Соответственно жидкость (тонированные прямоугольники) перемещается также в виде цилиндров;
- 2) скорость жидких и воздушных цилиндров одинакова и равна скорости смеси (гомогенное течение).

Для определения влияния пульсационного способа подачи жидкости на производительность насоса необходимо получить уравнение, связывающее объемную производительность по воздуху ( $Q_{\text{воз}}$ ) с влияющими факторами:

$$Q_{\text{воз}} = f(Q, T, T_{\text{закр}}),$$

где  $Q$  – объемный расход воды;  $T$  – период появления жидких поршней;  $T_{\text{закр}}$  – время, в течение которого жидкость не подается в камеру смешения (рис. 2).

Объемную производительность насоса по воздуху можно выразить через объем воздушного цилиндра ( $V_{\text{воз}}$ ) и частоту их появления ( $\nu$ ) в зоне смешения:

$$Q_{\text{воз}} = V_{\text{воз}} \nu. \quad (1)$$

Объем воздушного цилиндра можно записать как

$$V_{\text{воз}} = L_{\text{пуз}} S, \quad (2)$$

где  $L_{\text{пуз}}$  – длина пузыря;  $S$  – площадь сечения зоны смешения.

Длину пузыря, в свою очередь, можно выразить следующим образом:

$$L_{\text{пуз}} = v_{\text{пуз}} T_{\text{загр}},$$

где  $v_{\text{пуз}}$  – скорость пузыря.

Введем обозначение:

$$T_{\text{загр}} / T = \kappa, \text{ или } T_{\text{загр}} = \kappa T, \quad (3)$$

где  $\kappa$  – доля времени периода в течение, которого вода не подается в камеру смешения и соответственно идет засасывание в камеру воздуха.

Учитывая уравнение 3, получим

$$L_{\text{пуз}} = v_{\text{пуз}} \kappa T.$$

Подставим полученное значение  $L_{\text{пуз}}$  в уравнение (2), определяющее объем воздушного пузыря:

$$V_{\text{воз}} = v_{\text{пуз}} \kappa T S. \quad (4)$$

В соответствии с допущениями скорость пузыря в смесительной камере равна скорости смеси  $V_{\text{см}}$ , которая в свою очередь равна

$$V_{\text{см}} = V_{\text{пуз}} = \frac{Q + Q_{\text{возд}}}{S}.$$

Подставим полученное выражение для скорости пузыря в уравнение (4):

$$V_{\text{пуз}} = \frac{Q + Q_{\text{возд}}}{S} \cdot \kappa T S = (Q + Q_{\text{возд}}) \cdot \kappa T.$$

Подставим полученное выражение для скорости пузыря ( $V_{\text{пуз}}$ ) в уравнение (1), определяющее производительность насоса по воздуху

$$Q_{\text{возд}} = (Q + Q_{\text{возд}}) \cdot \kappa T \frac{1}{T} = (Q + Q_{\text{возд}}) \kappa.$$

Откуда

$$Q_{\text{возд}} = Q \frac{\kappa}{1 - \kappa}.$$

Или

$$\frac{Q_{\text{возд}}}{Q} = \frac{\kappa}{1 - \kappa}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{возд}} / Q$  – коэффициент эжекции – одна из характеристик эффективности струйного насоса.

Таким образом, получено уравнение, связывающее объемную производительность насоса по воздуху с объемной производительностью по воде и пульсационными характеристиками потока жидкости.

Для удобства последующего анализа изменения производительности насоса от влияющих факторов представим полученное уравнение в других видах. Подставим вместо  $\kappa$  его значение из определения (см. уравнение (3)):

$$\frac{Q_{\text{возд}}}{Q} = \frac{T_{\text{загр}}}{T - T_{\text{загр}}} \kappa. \quad (6)$$

Учитывая, что  $T = 1/\nu$ , получим

$$\frac{Q_{\text{возд}}}{Q} = \frac{T_{\text{загр}} \nu}{T - T_{\text{загр}} \nu}. \quad (7)$$

Для большей наглядности представим полученные зависимости (уравнения (5)–(7)) в графическом виде. Результаты расчетов по уравнению (5) показаны на рисунке 3.

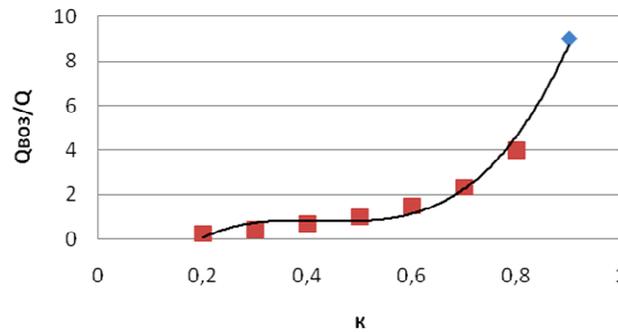


Рис. 3. Зависимость коэффициента эжекции ( $Q_{\text{воз}}/Q$ ) от доли времени периода, в течение которого вода не подается в камеру смешения ( $\kappa = T_{\text{закр}}/T$ )

Из графика (см. рис. 3) видно, что с ростом  $\kappa = T_{\text{закр}}/T$ , коэффициент эжекции также увеличивается в несколько раз. При этом нужно помнить, что увеличение  $\kappa$  приводит к уменьшению потока жидкости и, соответственно, к уменьшению вклада классической составляющей струйного насоса в его производительность.

На рисунке 4 показаны результаты расчета по уравнению (6). Из структуры уравнения и графиков видно, что с ростом  $T_{\text{закр}}$  производительность насоса растет. Другими словами, чем больше время закрытия клапана, тем больше воздуха попадет в камеру смешения между цилиндрами жидкости. Наибольшее приращение производительности происходит при значениях  $T_{\text{закр}}$ , стремящихся к  $T$ .

На рисунке 5 показан график зависимости коэффициента эжекции от частоты пульсаций потока жидкости при различном времени закрытия клапана (уравнение (7)). Как видно из структуры уравнения и графиков, коэффициент эжекции при всех значениях  $T_{\text{закр}}$  увеличивается с ростом частоты налагаемых пульсаций.

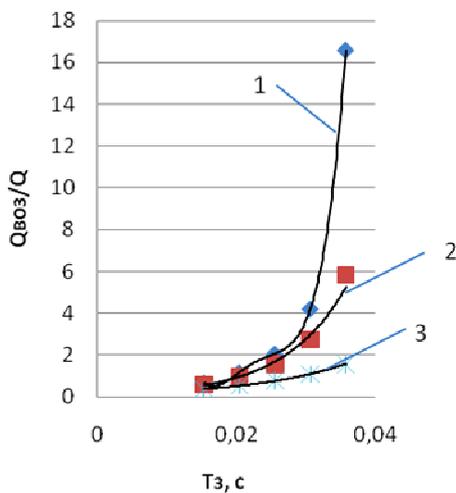


Рис. 4. Зависимость коэффициента эжекции ( $Q_{\text{воз}}/Q$ ) от времени, в течение которого вода не поступает в камеру смешения ( $T_{\text{закр}}$ ) при различных значениях периода пульсаций жидкостного потока:  
1 –  $T = 0,038$  с; 2 –  $T = 0,45$  с; 3 –  $T = 0,059$  с

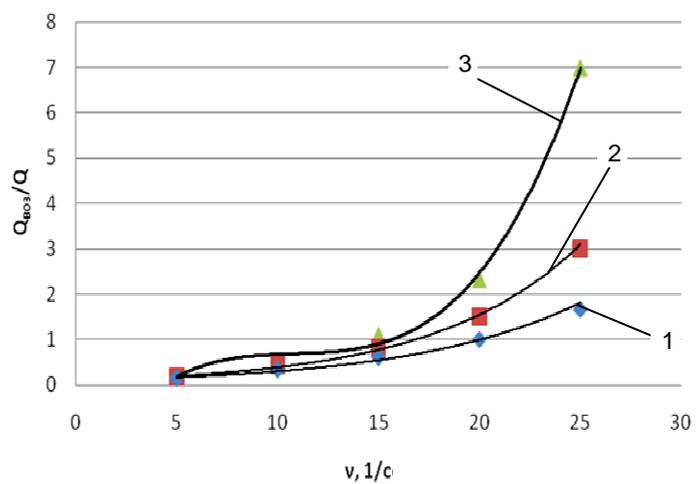


Рис. 5. Зависимость коэффициента эжекции ( $Q_{\text{воз}}/Q$ ) от частоты пульсаций жидкого потока ( $\nu$ ) при различных значениях времени периода, когда вода не поступает в камеру смешения ( $T_{\text{закр}}$ ):  
1 –  $T_{\text{закр}} = 0,025$  с; 2 –  $T_{\text{закр}} = 0,03$  с;  
3 –  $T_{\text{закр}} = 0,035$  с

**Выводы.** Получена упрощенная модель водовоздушного насоса, работающего в пульсационном режиме подачи воды и, соответственно, с поршневым движением воды и воздуха в камере смешения. Численный анализ полученных уравнений подтверждает, что при организации подачи жидкости в пульсирующем режиме при некоторых соотношениях периода пульсаций ( $T$ ) и доли времени периода, в тече-

ние которого вода не подается в камеру смешения ( $\kappa = T_{\text{закр}} / T$ ), производительность насоса может существенно возрастать. С другой стороны, рост  $\kappa$  физически ведет к уменьшению расхода жидкости, что в свою очередь уменьшает классическую составляющую производительности насоса.

Математический анализ суммарного воздействия поршневого движения жидкости и классической составляющей производительности водовоздушного насоса не даст достаточной точности в силу большого количества упрощающих допущений, принимаемых при выводе уравнений, и введения многих эмпирических коэффициентов, учитывающих факторы, не вошедшие в математическую модель.

Таким образом, для выяснения роли пульсирующей подачи воды и разработки более эффективной конструкции струйного водовоздушного насоса необходимо произвести натурные исследования с различными соотношениями влияющих факторов:

- объёмный расход воды ( $Q$ );
- период пульсаций водяного потока ( $T$ );
- доли периода, в течение которого вода не подается в камеру смешения ( $\kappa = T_{\text{закр}} / T$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
2. Спиридонов, Е.К. Пути оптимизации работы водовоздушного струйного вакуумного насоса в системах вакуумирования энергетических установок / Е.К. Спиридонов, А.Р. Исмагилов // Вестн. ЮУрГУ. Серия «Проблемы энергетического машиностроения». – 2012. – С. 689–692.
3. Ефимочкин, Г.И. Конструкции и расчет водоструйных эжекторов с удлиненной камерой смешения / Г.И. Ефимочкин // Теплоэнергетика. – 1982. – № 2. – С. 48–51.
4. Абаев, Г.Н. Закономерности гидродинамики и массопереноса в струйных аппаратах / Г.Н. Абаев, Е.В. Чернявская // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 3. – С. 184–188.
5. Гальперин, Н.И. О гидродинамике жидкостных инжекторов с диспергированием рабочей жидкости / Н.И. Гальперин, Б.Н. Басаргин, Ю.Г. Звездин // ТОХТ. – 1972. – Т. VI. – С. 434–439.
6. Патент Рос. Федерации № 2069799, кл. F04F5/14; опубл. 27.11.1996.
7. Авторское свидетельство Рос. Федерации № 281730, F 04F5/04; опубл. 1969.
8. Авторское свидетельство Рос. Федерации № 549600, F 04F5/04; опубл. 1977.

Поступила 05.12.2014

#### ESTIMATED POSSIBILITY OF THE AIR PUMP CAPACITY INCREASE WITH USING OF PULSATION WATER DELIVERY

*K. ZINKEVICH, E. SHESTOPALOV*

*A simplified mathematical model of pulsating condition water delivery influence on water-air jet pump discharge is obtained. With usage of numerical experiment it is shown, that the pulsating condition water delivery allows increasing of the air pump capacity. The frequency characteristics influence on the pump capacity is analyzed.*