

4. Карлов Н. В., Кириченко Н. А., Лукьянчук Б. С. Лазерная термомеханика. — М.: Наука, 1992. — 296 с.

5. Шабловский О. Н. Конвективный теплообмен и вихревая динамика в условиях пристеночного скольжения вязкой жидкости // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1997. — № 5–6. — С. 90–95.

6. Шабловский О. Н. О знакопеременной диссипации энергии в жидкости с релаксирующими вязкими напряжениями // ИФЖ. — 1997. — Т. 70, № 6. — С. 967–974.

7. Ланда П. С. Нелинейные колебания и волны. — М.: Наука, 1997. — 496 с.

Представлена кафедрой
технической механики

Поступила 20.01.2001

УДК 621.694.3

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОРЕГУЛИРУЮЩИХСЯ СТРУЙНЫХ НАСОСОВ

Асп. ХОХЛОВ В. А.

Ташкентский государственный технический университет

Асп. КОРЕВИЦКИЙ Г. А.

Белорусская государственная политехническая академия

Струйные насосы в последние годы находят широкое применение во многих областях техники. Этому способствуют их высокие конструктивные и эксплуатационные показатели. Струйные насосы просты по конструкции, доступны для изготовления и ремонта, надежны в работе, не требуют предварительного залива перед пуском, позволяют откачивать загрязненную воду и водо-воздушную смесь.

Предложено применять струйные насосы для откачки дренажных и фильтрационных вод из зданий гидроэлектростанций и насосных станций [1, 2]. Они надежнее центробежных насосов, традиционно используемых для этих целей, так как работают от давления воды напорного трубопровода и позволяют откачивать дренажные и фильтрационные воды даже при длительном обесточивании всей станции.

Следует отметить, что струйные насосы работают эффективно только при строго определенных условиях, на которые они рассчитываются. Известно, что при сработке водохранилища на гидроэлектростанции будет уменьшаться геометрическая высота столба жидкости, и, следовательно, снижаться давление рабочей жидкости. На насосных станциях в осенние и зимние месяцы часть рабочих насосов отключается для производства ремонтных и профилактических работ и также уменьшается давление рабочей жидкости. Снижение давления на гидроэлектростанциях может достигать 20 %, а на насосных станциях — 15 %. При его уменьшении снижается скорость истечения жидкости из сопла струйного насоса, резко падает его КПД. При определенных условиях созда-

стся момент, когда струйный насос не сможет откачивать дренажную и фильтрационную воду в достаточном объеме. В результате возникнет вероятность затопления здания станции.

Для обеспечения эффективной откачки дренажной воды при снижении давления рабочей жидкости предложена конструкция саморегулирующегося струйного насоса. Предлагаемая конструкция схематично представлена на рис. 1.

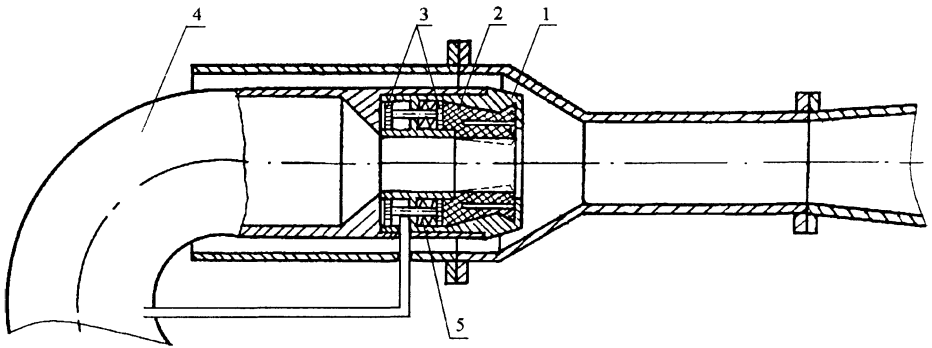


Рис. 1. Схема саморегулирующегося струйного насоса: 1 – металлическая; 2 – эластичная часть сопла; 3 – плунжеры с общим штоком; 4 – сопловый патрубок; 5 – пружина

Сопло струйного насоса выполнено из двух частей: наружной металлической и внутренней в виде упругой втулки, изготовленной из эластичного материала. Корпус сопла разделен поперечной перегородкой на полости, в которых перемещаются плунжеры с общим штоком. В полости со стороны эластичной части размещены пружины, конструкция и материал которых подбираются по результатам расчетов, а другая полость сообщена с сопловым патрубком и воспринимает давление рабочей жидкости.

При работе насосной станции в расчетном режиме, когда давление рабочей жидкости уравнивает усилие пружин, сопло полностью открыто, как это показано на рис. 1. При снижении давления рабочей жидкости под действием пружин плунжеры передвигаются вправо и смещают к центру эластичную часть сопла, тем самым уменьшая его сечение (на рисунке показано пунктиром). Уменьшение диаметра сопла, которое происходит автоматически, без дополнительного привода, создает условия для увеличения скорости истечения жидкости из сопла струйного насоса, а, следовательно, восстановления откачивающих способностей самого насоса.

Применение саморегулирующихся струйных насосов позволяет поддерживать достаточно высоким КПД насоса и повышает надежность системы защиты от затопления.

Увеличение напора струйного насоса при регулировании его эластичным соплом имеет естественный предел, связанный с увеличением гидравлических сопротивлений в сопле.

Для определения области регулирования на основании методики для расчета изменения характеристик струйного насоса при изменении внешних рабочих параметров [2] была разработана математическая модель саморегулирующегося струйного насоса.

Напор саморегулирующегося струйного насоса H_H равен разности полных удельных энергий потока в напорной E_H и во всасывающей E_B линиях

$$H_H = E_H - E_B = \left(\frac{P_H}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} \right) + \left(\frac{V_H^2}{2g} - \frac{V_B^2}{2g} \right) - \Delta h - \Delta h_3, \quad (1)$$

где Q_p , Q_B , Q_H — соответственно расходы рабочий, всасываемый, смешанный;

V_p — скорость истечения жидкости из сопла;

V_B — скорость движения всасываемой жидкости в камере смешения;

V_H — то же жидкости в конце камеры смешения;

p_H , p_B — соответственно давление в напорном и во всасывающем патрубках струйного насоса;

F_c , F_k — площадь сечения соответственно сопла и камеры смешения насоса;

Δh — потери напора в проточной части струйного насоса;

Δh_3 — то же в регулирующем эластичном сопле.

Для определения потенциальной составляющей напора $\frac{P_H - P_B}{\rho g}$ составим уравнение количества движения [4]

$$\Delta \int_F (mu)_X = \int_{t_1=t}^{t_2=t+\Delta t} \bar{R}_X dt, \quad (2)$$

где m — масса материальной точки;

u_1 и u_2 — скорости точки в момент времени t и в момент $t + \Delta t$;

\bar{R} — равнодействующая внешних сил, приложенных к отдельным материальным точкам данной системы.

Ограничиваясь рассмотрением установившегося движения, выделим из потока некоторую массу с помощью сечений В—В и Н—Н. При вычислении приращения количества движения за промежуток времени Δt и введении средней по сечению скорости V уравнение примет вид:

$$\rho Q_p V_p + \rho Q_B V_B - \rho (Q_B + Q_p) V_H = (P_H - P_B) F_k. \quad (3)$$

Выразив скорости через расходы $V_p = \frac{Q_p}{F_c}$; $V_B = \frac{Q_B}{F_k - F_c}$; $V_H = \frac{Q_p + Q_B}{F_k}$,

получим

$$\frac{P_H - P_B}{\rho g} = \frac{\frac{Q_p^2}{F_c} + \frac{Q_B^2}{F_k - F_c} - \frac{(Q_B + Q_p)^2}{F_k}}{g F_k}.$$

Введем в вычисления известные безразмерные коэффициенты:

$\bar{q} = \frac{Q_B}{Q_p}$ — относительный коэффициент всасывания;

$\bar{f} = \frac{F_k}{F_c}$ – относительный геометрический коэффициент струйного насоса;

$$\frac{P_H - P_B}{\rho g} = \frac{2H_p}{f} \left(1 + \frac{\bar{q}^2}{f-1} - \frac{(\bar{q}+1)^2}{f} \right). \quad (4)$$

Аналогичным образом преобразуем кинетическую составляющую напора саморегулирующегося струйного насоса

$$\begin{aligned} \left(\frac{V_H^2}{2g} - \frac{V_B^2}{2g} \right) &= \frac{(Q_B + Q_p)^2}{2gF_k^2} - \frac{Q_B^2}{2g(F_k - F_c)^2} = \\ &= \frac{Q_p^2}{2gF_c^2} \left[\frac{F_c^2}{F_k^2} \left(\frac{Q_B}{Q_p} + 1 \right)^2 - \left(\frac{Q_B}{Q_p} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{F_k}{F_c} - 1 \right)^2} \right] = H_p \left(\frac{(\bar{q}+1)^2}{\bar{f}^2} - \frac{\bar{q}^2}{(\bar{f}-1)^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Потери напора Δh в проточной части струйного насоса складываются из потерь во входном конфузоре, сопле, камере смешения и диффузоре и определяются в зависимости от конструкции элементов насоса по формулам гидравлики [5]. Коэффициенты местных сопротивлений в них для рассчитанного и изготовленного струйного насоса постоянны.

Потери напора Δh_3 в эластичном сопле переменны и зависят от его относительного закрытия \bar{S} .

После подстановки зависимостей (4) и (5) в (1) и преобразований получаем основную зависимость для определения характеристик саморегулирующегося струйного насоса

$$H_H = H_p \left[\frac{2}{f} - \frac{(\bar{q}+1)^2}{\bar{f}^2} + \frac{\bar{q}^2(\bar{f}-2)}{(\bar{f}-1)^2 \bar{f}} \right] - \Delta h - \Delta h_3. \quad (6)$$

Для расчета модели использовался ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) [6], при этом задавались следующими основными параметрами:

площадь сечения цилиндрической камеры смешения $F_k = 397,4 \text{ мм}^2$;

площадь сечения сопла $F_c = 176,6 \text{ мм}^2$.

Основные результаты решения математической модели в виде зависимости напора насоса H_H от относительного закрытия сопла \bar{S} при его саморегулировании представлены на рис. 2. Зависимости построены для условия, что отсасываемый расход Q_B постоянен и составляет 1 л/с.

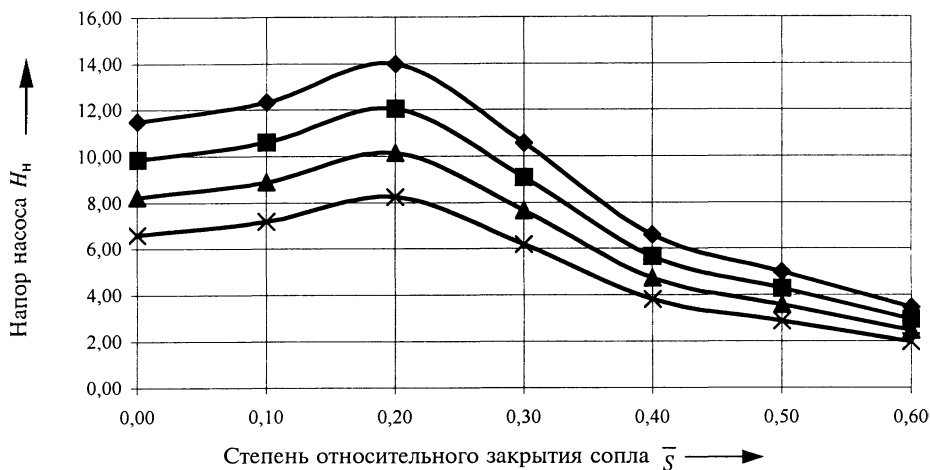


Рис. 2. Изменение напора саморегулирующегося струйного насоса с эластичным соплом H_n от относительного закрытия сопла \bar{S} для различных рабочих напоров: —◆— $H_p = 24$ м; —■— $H_p = 21$; —▲— $H_p = 18$; —×— $H_p = 15$ м

ВЫВОДЫ

1. При уменьшении рабочего напора H_p добиться восстановления нагнетаемого напора струйного насоса H_n возможно путем увеличения скорости истечения рабочего потока, которое можно осуществить за счет уменьшения площади сечения сопла.

2. Увеличение напора H_n саморегулирующегося струйного насоса происходит при уменьшении площади сечения сопла на 20 %. При дальнейшем перекрытии сопла напор резко падает из-за увеличения гидравлических сопротивлений в проточной части струйного насоса.

3. Область регулирования напора насоса H_n в сторону его увеличения составляет 20–25 %, что можно считать достаточным для условий откачки дренажных вод из зданий станций гидроустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент UZ № 3626. Способ удаления фильтрационных и дренажных вод из помещения насосной станции и система для его осуществления / НПП «Водоподъемник»; Хохлов А. В., Колесников Ю. А., Хошимов Х. Х., Хохлов В. А. // Бюл. — 1996. — № 2.
2. Хохлов А. В., Хохлов В. А. Применение струйных насосов в дренажных системах насосных станций. — Мелиорация и водное хозяйство. — 2000. — № 5. — С. 30–31.
3. Патент UZ № IDP 04305. Саморегулирующийся струйный насос / Хохлов А. В., Хохлов В. А., Хошимов Х. Х., Суванов А. Т. // Бюл. — 2000. — № 2.
4. Л я м а е в Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки. — Л.: Машиностроение, 1988.
5. С п р а в о ч н и к по гидравлическим расчетам / Под ред. П. Г. Киселева. — М.: Энергия, 1974.
6. Г е р а с к и н О. Т. Основы теории и методов расчета режимов больших энергетических систем. — М.: ИПКГосслужбы, 1996. — 166 с.

Представлена кафедрой
гидротехнического
энергетического строительства

Поступила 23.03.2001