Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXV, вып. 1, 1973 г.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ЗАПУСКЕ УСТАНОВОК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Д. Г. Поволоцкий

Известны случаи, когда процессы запуска гидротранспортных установок сопровождались авариями [1, 2]. Причина таких аварий — гидравлический удар, возникающий из-за образования «пробок», и разрывы сплошности потока в момент включения последующих ступеней в схемах с несколькими насосными станциями, работающими последовательно. «Пробки» в трубопроводах возникают, как правило, при предшествующих остановках. Местами образования «пробок» могут быть участки магистрали с местными понижениями («мешками»), способствующими сползанию осевшего твердого материала, горизонтальные участки, примыкающие к наклонным или вертикальным участкам, тупики между обратным клапаном и дренажным патрубком. «Пробки» могут образовываться также и в момент запуска установки даже при отсутствии каких-либо нарушений трассы.

Рассмотрим землесос с примыкающим к нему горизонтальным участком напорного трубопровода. При выключении насосного агрегата гидросмесь в трубопроводе разделится на твердое и осветленную воду, которую через дренажные патрубки выпускают из системы. При последующем включении землесос, не имея на нагнетательном патрубке сопротивления, разовьет максимальную производительность Q_{max}, и пульпа с большой скоростью $v_п$ $\frac{Q_{max}}{\omega}$ (ω — проходное сечение пульповода) устремится в напорную линию. Движущийся с большой скоростью поток гидросмеси переведет во взвешенное состояние твердое вещество, осевшее на дно трубы во время предшествующей остановки. Так как головная часть потока поднимет со дна все новые и новые порции твердого вещества, то консистенция этой части потока резко возрастет, и в конце концов может образоваться пробка, а как следствие, гидравлический удар. Этому в значительной мере способствуют повороты, прокладки, выступающие на стыках труб, и другие местные сопротивления. Предупредить гидравлический удар в данном случае можно предварительным заполнением трубопровода водой или гидросмесью низкой консистенции. Скорость подачи жидкости должна быть ниже критической.

Причиной гидравлических ударов может стать также лед, образовавшийся в местах понижения трассы. При запуске гидротранспортной установки лед смывается потоком жидкости. Встреча льдин между собой, скопление их на участках с дополнительным сопротивлением или в последующих по схеме насосах приведет к гидравлическому удару. На это обстоятельство необходимо обращать внимание в условиях Крайнего Севера.

Пробкообразования в гидротранспортной линии можно избежать, прокладывая трассу соответствующим образом и промывая систему перед остановкой. Промывка системы является универсальным средством. Чтобы рассчитать время и количество воды, необходимые для промывки системы, решим задачу об изменении консистенции потока при подаче в зумпф вместо пульпы чистой воды (при $Q=\text{const}$). Обозначим часть объема зумпфа, занятую гидросмесью, V_E; при удельном весе гидросмеси γ общий вес пульпы в зумпфе равен $V_E\gamma$. При производительности установки Q за промежуток времени dt из зумпфа уходит количество гидросмеси, равное $Q\gamma dt$, а количество поступающей воды равно $Q\gamma_0 dt$ (γ_0 — удельный вес воды). Вес гидросмеси в зумпфе через время dt равен $V_E\gamma - Q\gamma dt + Q\gamma_0 dt$, а удельный вес гидросмеси выражается зависимостью

$$\frac{V_E\gamma - Q\,dt\,(\gamma-\gamma_0)}{V_E} = \gamma + d\gamma$$

или

$$-\frac{Q}{V_E}\,dt = \frac{d\gamma}{\gamma-\gamma_0}$$

Это выражение представляет собой дифференциальное уравнение процесса изменения консистенции смеси, происходящего в зумпфе. Интегрируя уравнение, получаем

$$-\frac{Q}{V_E}\,t = \ln(\gamma-\gamma_0) + C. \qquad (1)$$

Для определения постоянной интегрирования C введем граничное условие: в момент времени $t=0$ удельный вес пульпы $\gamma = \gamma_п$ Тогда

$$C = \ln(\gamma_п - \gamma_0). \qquad (2)$$

Подставляя значение (2) в уравнение (1), находим

$$-\frac{Q}{V_E}\,t = \ln(\gamma-\gamma_0) - \ln(\gamma_п-\gamma_0),$$

$$\gamma-\gamma_0 = (\gamma_п-\gamma_0)e^{-\frac{t}{T_E}}, \qquad (3)$$

где t — время, исчисляемое от начала промывки системы; T_E — постоянная времени для емкости объемом V_E,

$$T_E = \frac{V_E}{Q} \qquad (4)$$

Таким образом, если в зумпф землесоса вместо гидросмеси подается промывочная вода, то удельный вес гидросмеси, поступающей из зумп-

фа в трубопровод, изменяется по экспоненциальному закону В соответствии с этим имеет место следующая зависимость между превышением удельного веса гидросмеси над водой $\gamma - \gamma_0$ (в долях $\Delta\gamma = \gamma_п - \gamma_0$) и временем, выраженным через постоянную времени T_E:

Время t	0	T_E	$2T_E$	$3T_E$	$4T_E$	$5T_E$
Превышение удельного веса $\gamma - \gamma_0$	$\Delta\gamma$	$0{,}368\Delta\gamma$	$0{,}135\Delta\gamma$	$0{,}05\Delta\gamma$	$0{,}01\Delta\gamma$	~ 0

Из приведенных данных следует, что через промежуток времени, равный $(3 \div 4)T_E$, превышение удельного веса гидросмеси, а следовательно, и ее консистенция снизятся на 95—99%. Таким образом, время промывки зумпфа может быть определено по формуле

$$T_{пр.з} = a\frac{V_E}{Q},$$

а время промывки всей системы

$$T_{пр.с} = a\frac{V_E}{Q} + \frac{L}{v}, \qquad (5)$$

где L — длина трубопровода; v — скорость жидкости в трубопроводе; $a = 3 \div 4$.

Из полученной зависимости следует, что общее время промывки может быть сокращено, если количество гидросмеси V_E, находящееся в зумпфе, перед началом промывки уменьшить. При большой консистенции минимальное значение величины V_E должно быть также проверено расчетом [3], так как в некоторых случаях резкое снижение удельного веса гидросмеси может привести к аварийному режиму.

В гидротранспортных установках с последовательным соединением землесосов включение последующей ступени до заполнения трубопровода на определенную величину может вызвать разрыв сплошности потока. На рисунке представлена схема гидротранспортной установки, состоящей из трубопровода и двух последовательно включенных землесосов, удаленных друг от друга на определенное расстояние. Так как насосные агрегаты соединены последовательно, то должно соблюдаться условие неразрывности потока

$$Q_1 = Q_2, \qquad (6)$$

где Q_1 и Q_2 — производительность первого и второго землесоса.

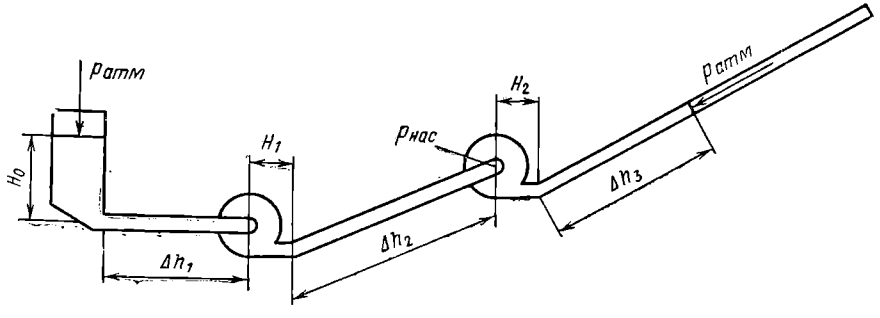


Схема к определению степени заполнения пульповода в момент включения второго землесоса.

При разрыве сплошности потока давление в месте разрыва (перед вторым землесосом) равно давлению насыщенных паров жидкости $p_{нас}$.

Составим два уравнения Бернулли: первое — для участка, включающего первый землесос, зумпф и трубопровод до точки разрыва; второе — для участка от точки разрыва и выше

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= \Delta h_1 + \Delta h_2 - H_0 - p_{атм} + p_{нас} + z, \\ H_2 &= \Delta h_3 + p_{атм} - p_{нас} + z, \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

где H_1 и H_2 — манометрические напоры, развиваемые первым и вторым землесосами; Δh_1, Δh_2, Δh_3 — потери напора на соответствующих участках трубопровода; H_0 — подпор, обусловленный уровнем жидкости в зумпфе; $p_{атм}$ — атмосферное давление; $p_{нас}$ — давление насыщенных паров; z — геометрический напор.

Так как землесосы, установленные в первой и второй насосной, имеют одинаковые характеристики, при которых одним и тем же значениям расхода Q соответствуют одни и те же значения напора H, то условие неразрывности (6) может быть представлено в виде

$$H_1 = H_2. \tag{8}$$

Из уравнений (7) и (8) находим значение Δh_3, при котором разрыва сплошности не произойдет,

$$\Delta h_3 = \Delta h_1 + \Delta h_2 - H_0 - 2(p_{атм} - p_{нас}). \tag{9}$$

Если в полученном выражении раскрыть значения величин Δh_1, Δh_2, Δh_3, то увидим, что в него входят два неизвестных: скорость жидкости v и длина участка трубопровода l_x, заполненного гидросмесью, т. е. это выражение представляет собой зависимость $v = f(l_x)$.

Вторую зависимость между этими же величинами $v = F(l_x)$ можно найти графически, определив точки пересечения суммарной характеристики двух землесосов с характеристиками трубопровода, соответствующими различной степени его заполнения l_x. Интересующее нас значение l_x, при котором величина Δh_3 окажется безопасной, может быть найдено графически по координате точек пересечения графиков функций $v = f(l_x)$ и $v = F(l_x)$.

По изложенной методике для практических целей определялась степень заполнения пульповода в момент включения второго землесоса для схемы [2] Ковдорского горно-обогатительного комбината. Результаты расчетов хорошо подтвердились экспериментами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джваршеишвили А. Г., Кирмелашвили Г И. Нестационарные режимы систем, подающих двухфазную жидкость. Тбилиси, «Мецниереба», 1965.

2. Покровская В. Н., Поволоцкий Д. Г Предупреждение гидравлических ударов в насосных установках по перекачке хвостов. Горный журн., 1967, № 4.

3. Поволоцкий Д. Г Предупреждение аварийных режимов при регулировании консистенции в установках гидравлического транспорта. Изв. вузов, Горный журн., 1969, № 9.