

УДК 622. 234. 552

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ВО ВСАСЫВАЮЩИХ ТРАКТАХ СТАЦИОНАРНЫХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Моргунов В.М. канд. тех. наук, доц.,

Донецкий государственный технический университет

Рассмотрены переходные режимы во всасывающей системе стационарной гидротранспортной установки. Приведена методика определения потерь давления во всасывающей линии при наличии слоя твердого материала.

The transitional conditions in a soaking up system of stationary hydro-transport installation are considered. The technique of the definition of losses of pressure in a soaking up line is reduced at presence of a stratum of a rigid material

В гидромеханизированных системах горных работ, а также в стационарных гидротранспортных и гидроподъемных установках всасывающие устройства, работают в условиях засыпки слоем твердого материала.

Теоретические и экспериментальные исследования ученых ДонГТУ (ДПИ), а.с. №№140380, 205696, 306229, 815162, УкрНИИ-Гидроуголь [1], ИГМ АН Украины, а.с. №186328, ВНИИГидроуголь, а.с. №407009, в 60-80г.г. привели к разработке всасывающих устройств гидротранспортных установок работающих в условиях наличия слоя сыпучего материала над входным патрубком. Относительная высота слоя, как правило, превышает величину двух диаметров входного отверстия всасывающего патрубка (практически несколько десятков). Для всех, отмеченных выше, всасывающих устройств характерно наличие той или иной конструкции экранирующих элементов, обеспечивающих дозированное поступление твердого материала в зону захвата и во всасывающий трубопровод с определенной консистенцией. Несмотря на это, при пуске насосного агрегата после длительной остановки, вокруг экранирующего элемента слой слеживается и, в ряде случаев, запуск насоса без принятия специальных мер затруднен или сопровождается кавитационными явлениями. Это связано с тем, что при расчете всасывающей линии стационарных гидротранспортных установок не достаточно обоснованно учитывается

влияние засыпки всасывающего устройства твердым материалом, который характеризуется частицами неправильной формы крупностью 0,001...200 мм с плотностью 1200...2700 кг/м³.

Как показали исследования, во время запуска гидротранспортной установки или при переводе режима ее работы с воды на гидросмесь, наряду с высокочастотными изменениями параметров возникают низкочастотные переходные режимы работы насоса. Низкочастотные переходные режимы характеризуются изменением вакуума, часто достигающего критической величины. Установление же квазистационарных значений подачи и плотности гидросмеси происходит с запаздыванием, что может, в совокупности, привести к возникновению кавитационных режимов работы насоса, а при наличии САР гидротранспортной установкой, к ложному срабатыванию системы защиты, поэтому необходима блокировка САР на время переходных режимов. Для определения обоснованного времени блокировки САР и влияния слоя твердого материала на режимы работы гидротранспортной установки необходимо определение фильтрационных параметров зернистого слоя.

Известно, что фильтрационные процессы в зернистых слоях не поддаются строгому математическому описанию [2]. Однако, отечественными и зарубежными исследователями для определенных условий получены эмпирические и полуэмпирически зависимости по определению фильтрационных параметров зернистых слоев, существенно влияющих на процессы всасывания и общие потери давления во всасывающем тракте. Еще больше осложняется решение задачи в связи с наличием в зумпфе гидротранспортной установки всасывающего устройства, искажающего форму зернистого слоя.

Обычно, в таких случаях, зависимость между скоростью фильтрации (V_{ϕ}) и градиентом давления (dp/dl) не соответствует линейному закону фильтрации Дарси. Нелинейный закон фильтрации, хорошо описывается зависимостью вида:

$$dp/dl = aV_{\phi} + bV_{\phi}^2.$$

Эта зависимость хорошо отображает плавный переход от линейного закона фильтрации к нелинейному. В зависимости от соотношения действительной и критической скоростей фильтрации режим подвода и всасывания твердого материала будет характеризоваться тремя этапами: - пусковой – фильтрация в плотном слое с малыми скоростями; - переходный – с увеличением градиента давления

скорость фильтрации увеличивается, частицы твердого уносятся фильтрационным потоком во всасывающий трубопровод, слой разрыхляется, и скорость фильтрации еще больше увеличивается, режим фильтрации переходит в нелинейную зону, в конечном итоге, в квадратичную зону, возникает фильтрация в деформированном слое.

В ДонГТУ были проведены исследования зернистых слоев с переменной структурой [3]. Используя формулу Дарси-Вейсбаха для пористых сред, значения гидравлического радиуса поровых каналов $R_{e,з}$, сделав допущение, что поровые каналы зернистого слоя представляют цилиндрические трубки, фильтрация через слой осуществляется равномерно по всему сечению слоя и используя основные законы фильтрации для ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости в поровых каналах, изменение потерь давления $d_{\Delta}P_c$ на элементарной струйке длиной dl в элементарном сечении слоя запишутся как:

$$d_{\Delta}P_c = \left[\frac{0,75\lambda\rho(1-m_3)}{d_3 m_3^2 \omega^2} Q_{\phi}^2 + \frac{1,125\rho A \nu (1-m_3)^2}{d_3^2 m_3^2 \omega} Q_{\phi} \right] dl,$$

где λ – коэффициент Дарси; m_3 – эквивалентная пористость слоя d_3 – эквивалентный диаметр частиц, м; ω – сечение фильтрационного потока, m^2 ; A – коэффициент пропорциональности сопротивления слоя при ламинарной фильтрации $A = \lambda R_{e,з}$; ν – кинематический коэффициент вязкости, m^2/c .

Интегрирование этого уравнения должно проводиться по давлению: - от давления на поверхности слоя (P_1) до давления перед входом во всасывающий трубопровод (P_2) и по длине струйки от 0 до l по всему объему слоя с переменным сечением. Это приводит к громоздкой зависимости, характеризующей потери давления на слое лишь в пусковом режиме и не отражает потери давления при нарушенном слое в нормальном режиме транспортирования.

Для определения параметров фильтрационных потоков, изменения сопротивления дозирующих ветвей всасывающего устройства в переходных режимах и времени блокировки САР, в соответствии с теорией “черного ящика” и π -теоремы [4], был составлен функционал совокупности исследуемых процессов, в который вошли 44 параметра влияющих на эти процессы. В результате, были получены критериальные зависимости, отражающие условия геометрического, кинематического и динамического подобия при устано-

вившемся, квазиустановившемся и неустановившемся (переходном) режимах.

Для получения интегральных параметров исследуемых процессов была разработана экспериментальная установка в соответствии с расчетными масштабами моделирования, для которой были определены интервалы изменения каждого из исследуемых параметров.

Наибольший интерес при создании САР представляют параметры переходных режимов. Эти процессы были реализованы на экспериментальной установке в соответствии с критериальными уравнениями для подпитывающей $\alpha_{\text{п}}$, всасывающей $\alpha_{\text{в}}$ линий и фильтрационного потока через слой твердого материала $\alpha_{\text{с}}$.

$$\alpha_{\text{п}} = \varphi_1(\Delta V_{\text{п}}/V_{\text{п}}^0, H_{0.\text{п}});$$

$$\alpha_{\text{в}} = \varphi_2(\Delta V_{\text{в}}/V_{\text{в}}^0, \rho_{\text{г}}/\rho_0, \text{Ar}, H_{0.\text{в}});$$

$$\alpha_{\text{с}} = \varphi_3(\Delta V_{\text{ф}}/V_{\text{ф}}^0, m_3, \Pi, \text{Ar}, H_{0.\text{с}});$$

где $\alpha_{\text{п}}$ $\alpha_{\text{в}}$ $\alpha_{\text{с}}$ - параметры, характеризующие потери давления в соответствующих ветвях всасывающего тракта;

$V_{\text{п}}^0$, $V_{\text{в}}^0$, $V_{\text{ф}}^0$, $\Delta V_{\text{п}}$, $\Delta V_{\text{в}}$, $\Delta V_{\text{ф}}$ - установившиеся значения средних скоростей и их приращения, соответственно подпитывающего, всасывающего и фильтрационного потоков, м/с;

$H_{0.\text{п}}$, $H_{0.\text{в}}$, $H_{0.\text{с}}$ - критерии Струхала (гидродинамической гомохронности), характеризующие изменение поля скоростей вызывающих нестационарность потоков в соответствующих линиях;

Ar - критерий Архимеда;

m_3 - эквивалентная пористость слоя ($m_3 = 0,54 + 0,063 \lg d_3$), здесь d_3 - численное значение эквивалентного диаметра твердых частиц, в метрах;

Π - отношение максимального ($d_{\text{макс}}$) и эквивалентного диаметров (d_3) твердых частиц, d_3 определяется по гранулометрическому составу твердого материала.

При проведении экспериментов проводились две группы опытов: одна - при наличии слежавшегося слоя, образующегося после длительной остановки насоса; другая - в условиях нарушенного слоя.

Возмущающим (входным) воздействием на систему являлось изменение сопротивления регулировочной ветви (плотности гидро-смеси). На рисунке 1 приведены наиболее характерные фрагменты

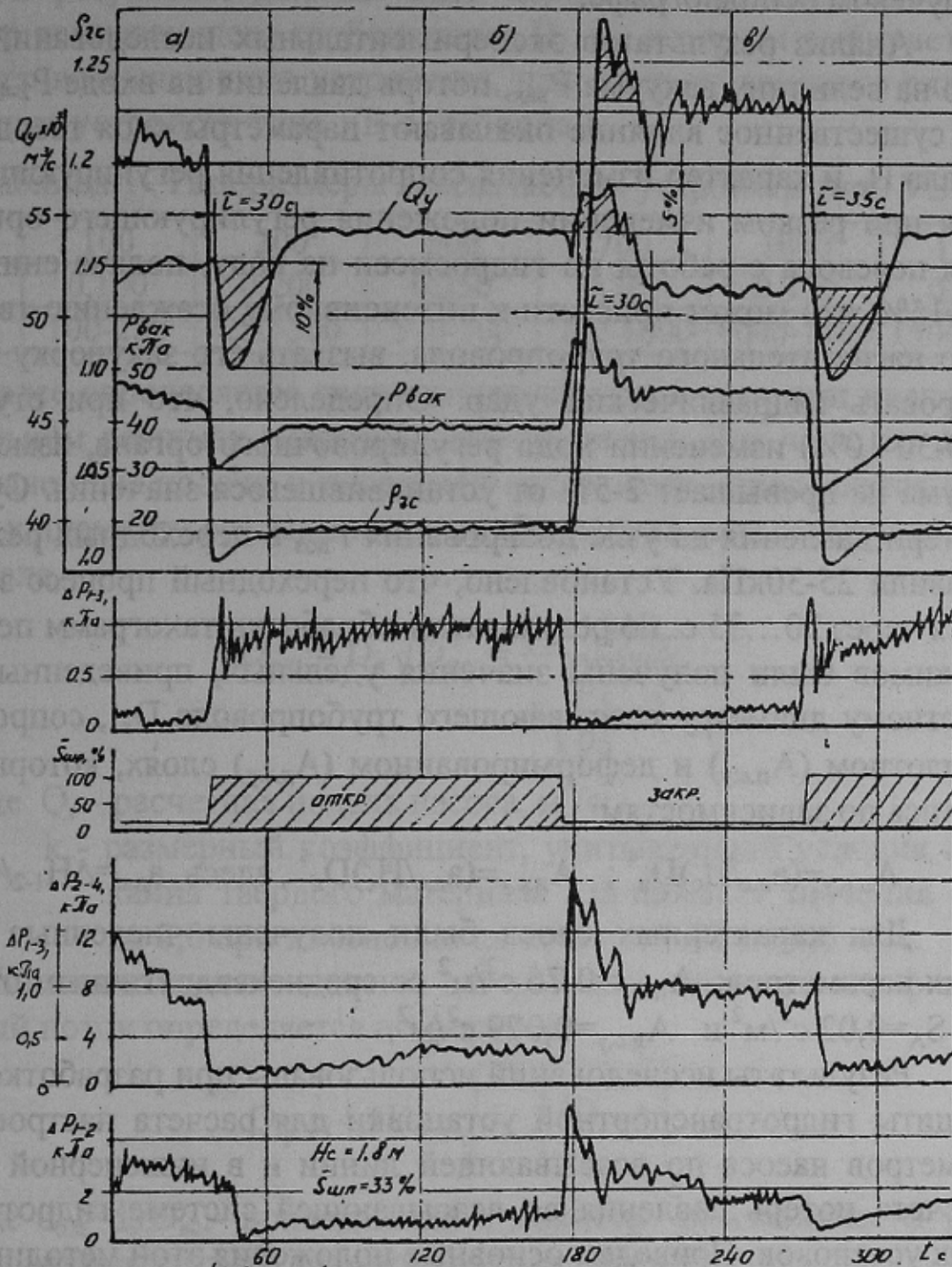


Рисунок 1 – Переходные режимы во всасывающей линии гидро-транспортной установки, имеющей запас по всасывающей способности

- а) при переводе работы насоса с гидросмеси на воду;
- б) установившийся режим;
- в) при переводе работы насоса с воды на гидросмесь.

записи на самопишущих приборах параметров переходных режимов, причем с целью оценки динамической погрешности самопишущих приборов, запись вакуума, давления и расхода дублировались на светолучевом осциллографе.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что на величину вакуума $P_{\text{вак}}$, потерь давления на входе P_{2-4} и подачу Q_y существенное влияние оказывают параметры слоя твердого материала H_c и характер изменения сопротивления регулирующей линии. Так при резком изменении положения регулирующего органа $S_{\text{шр}}$, для перевода с работы по гидросмеси на воду, подача снижается на 10-15%, что может привести к интенсивному осаждению твердого на дно нагнетательного трубопровода, вызвать его закупорку и спровоцировать гидравлический удар. Определено, что при ступенчатом (60-30-10%) изменении хода регулировочного органа, изменение вакуума не превышает 2-5% от установившегося значения. Суммарные потери давления на узле дозирования $P_{\text{доз}}$ в переходных режимах составили 25-30кПа. Установлено, что переходный процесс заканчивается через 30...35 с. по результатам обработки тахограмм переходных режимов были получены значения удельных, приведенных к стандартному диаметру всасывающего трубопровода D_v , сопротивлений в плотном ($A_{\text{п.с.у}}$) и деформированном ($A_{\text{д.с.у}}$) слоях, которые вычислялись по зависимостям:

$$A_{\text{п.с.у}} = (a_{\text{п.с.}}/H_c)D_v^4; \quad A_{\text{д.с.у}} = (a_{\text{д.с.}}/H_c)D_v^4, \quad \text{здесь } a_{\text{п.с.}} = \Delta H_{1-2}/Q_{\text{ф}}^2.$$

Для характерных слоев были получены численные значения этих параметров: $A_{\text{п.с.у}} = 0,76 \text{ с}^2/\text{м}^2$ со среднеквадратичным отклонением $S_A = 0,02 \text{ с}^2/\text{м}^2$ и $A_{\text{д.с.у}} = 0,079 \text{ с}^2/\text{м}^2$.

Результаты исследований использованы при разработке системы защиты гидротранспортной установки для расчета настроечных параметров насоса по всасывающей линии и в инженерной методике расчета потерь давления во всасывающей системе гидротранспортных установок. Приведем основные положения этой методики.

Исходными данными для расчета являются:

- необходимая подача агрегата по гидросмеси Q_{Γ} ;
- плотность гидросмеси ρ_{Γ} ;
- максимальная высота всасывания $H_{\Gamma, \text{вс}}$;
- длина всасывающего трубопровода L_v ;
- величина максимального слоя твердого $H_{\text{с. макс}}$;
- эквивалентный диаметр и плотность куска твердого d_3, ρ_{Γ} .

Расчеты ведутся в следующем порядке: - приняв предварительно потери в узле дозирования $\Delta P_{\text{доз}}=15$ кПа, по известным методикам определяется рабочий режим насоса для заданной плотности гидросмеси. В результате должны быть определены подача насоса Q_{Γ} и диаметр всасывающего трубопровода $D_{\text{в}}$, по которым выбирается типоразмер всасывающего устройства, например из типового ряда всасывающих устройств типа УВ-5, таблица.1.

Таблица 1- Типоразмеры всасывающих устройств типа УВ-5

УВ-5	100	200	500	700	1000	1500
$D_{\text{в}}, \text{м}$	0,100	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400
$Q_{\Gamma}, \text{м}^3/\text{ч}$	100-250	250-500	500-700	700-1000	1000-1500	1500-2000

Далее определяется гидравлический уклон слоя при пусковом и нормальном режимах гидротранспортирования. Для чего, по расчетным значениям подачи и плотности гидросмеси определяется приведенная к диаметру всасывающего трубопровода зона захвата твердого материала.

$$D_{\text{з.п}} = D_{\text{з}} \sqrt{D_{\text{вс}}^3} = \frac{(1...1,8)Q_{\Gamma}}{k \sqrt{\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_0} - 1}},$$

где Q_{Γ} - расчетная подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

k - размерный коэффициент, учитывающий условия подтекания твердого материала, принимает значения от 4,8 до 2,0 при изменении подачи от 0,001 до 0,6 $\text{м}^3/\text{с}$.

Минимально необходимый для размыва данного слоя фильтрационный поток определяется по формуле:

$$Q_{\text{ф}} = 4,6D_{\text{з.п}} \sqrt{d_{\text{э.п}} \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_0} - 1 \right)},$$

где $d_{\text{э.п}}=d_{\text{з}}/D_{\text{вс}}$; - приведенный к диаметру всасывающего трубопровода эквивалентный диаметр твердых частиц.

Далее, по определенному $Q_{\text{ф}}$, и высоте слоя $H_{\text{с.макс}}$, используя безразмерную регулировочную характеристику УВ-5, определяется настройка подпитывающей линии (соотношение подпитывающего $Q_{\text{п}}$ и фильтрационного $Q_{\text{ф}}$ потоков).

После чего определяются гидравлические уклоны в плотном $i_{\text{п.с}}$ и деформированном $i_{\text{д.с}}$ слоях, используя значения удельных сопро-

тивлений, соответственно $A_{п.с.у}=0,76 \text{ с}^2/\text{м}^2$ и $A_{д.с.у}=0,079 \text{ с}^2/\text{м}^2$, справедливые для материалов с $d_3=(2...4 \text{ мм})$, получим:

$$i_{п.с.} = (A_{п.с.у}/D_v^4)Q_{\phi}^2; \quad i_{д.с.} = (A_{д.с.у}/D_v^4)Q_{\phi}^2.$$

Используя значения $i_{п.с.}$ и $i_{д.с.}$, определяются допустимая высота всасывания при пусковом режиме ($H_{г.в}^{\text{доп}}$) и предельная глубина откачки зумпфа при рабочем режиме ($H_{г.в}^{\text{пр}}$), по зависимостям:

$$H_{г.в}^{\text{доп}} \leq H_{\text{вак}}^{\text{доп}}(\rho_0/\rho_r) - i_{в.г}(L_v + l_{в.э}) - i_{п.с}H_c;$$

$$H_{г.в}^{\text{пр}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}}(\rho_0/\rho_r) - i_{в.г}(L_v + l_{в.э}) - i_{д.с}H_c;$$

где $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ - допустимая вакуумметрическая высота всасывания в соответствии с индивидуальной характеристикой насоса, м.вод.ст.;

$i_{в.г}$ - гидравлический уклон всасывающего трубопровода на гидросмеси;

L, l_3 - длина всасывающего трубопровода и эквивалентная длина местных сопротивлений, м;

H_c - высота слоя твердого материала над входом во всасывающий трубопровод, м.

По рассчитанным значениям $H_{г.в}^{\text{доп}}$ и $H_{г.в}^{\text{пр}}$ окончательно определяются отметка свободной поверхности жидкости в зумпфе относительно оси агрегата при пуске установки и уровень жидкости в зумпфе, когда нагнетатель должен быть остановлен.

Эти данные могут быть использованы как настроечные параметры при создании САР и в расчетах гидротранспортных установок.

Список источников

1. Чиков В.Г. Гидравлическое дозирующее устройство для гидротранспортных установок. - В кн.: "Гидравлическая добыча угля". М., "Недра", 1969, №3(60).
2. Бэр З.Я. и др. Физико-математические основы фильтрации воды. М., "Мир", 1972, 452 с.
3. Моргунов В.М. Исследование узла дозирования углесосных станций гидрошахт с целью создания системы контроля и опережающей защиты. - Автореф. дис. канд. техн. наук. Донецк, 1978, 18 с.
4. Венников В.А. Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики. М., "Высшая школа", 1976, 475 с.