

МОРГУНОВ В.М. канд. тех. наук, доц.

Донецкий Национальный Технический Университет, Донецк, Украина

К контролю параметров процесса всасывания и дозирования твердого материала в стационарных гидротранспортных установках

STRESZCZENIE: Рассмотрены схема замещения, конструкция, способ подключения и вопросы контроля процесса всасывания гидротранспортных установок на базе дифференциальных пьезометров с гидростатическими разделителями сред.

ABSTRACT: Sont examinés la structure, le moyen de la connexion et les questions du contrôle du processus d'aspiration des installations du transport hydraulique sur la base des piézomètres différentiels avec les séparateurs hydrostatique de milieux.

При гидромеханизации горных работ, в других отраслях промышленности, особенно в стационарных гидротранспортных и гидроподъемных установках, в частности на углесосных (землесосных) станциях и эрлифтах горных предприятий и электростанций, где необходимо перемещение кускового твердого материала, нашли применение всасывающие устройства, типа УВ-2М, УВ-4М (УВ-5), а.с. №№140380, 205696, 306229 815162, разработанные в ДонНТУ(ДПИ). Эти устройства обеспечивают забюр и дозирование твердого материала в подводный трубопровод гидротранспортной установки при засыпке его входа практически на неограниченную высоту (например, на эрлифтных установках наблюдались случаи засыпки его до 16 м).

С целью определения взаимодействия отдельных элементов всасывающего устройства при заборе твердого материала, исследования влияния соотношения потоков в рабочих зазорах камеры подпитки и всасывающего наконечника на режимы дозирования твердого материала гидротранспортную установку, оборудованную устройством УВ-2М или УВ-4М (УВ-5), можно представить следующей схемой замещения: нагнетательный трубопровод представляется как одно общее гидравлическое сопротивление с определенными динамическими свойствами, всасывающий трубопровод и узел дозирования со слоем твердого материала условно разбивается (с определенными допущениями, так как, не выдерживается необходимое расстояние между местными сопротивлениями) на последовательно-параллельное соединение характерных постоянных и переменных гидравлических сопротивлений с учетом инерционных сил, действующих в переходных режимах.

Такая приближенная модель натурального устройства, основана на замене

фактически распределенных гидравлических сопротивлений фиктивными сосредоточенными, позволяет представить сложный процесс дозирования твердого материала отдельными потоками процессов подвода, забора и дозирования твердого материала, определить составляющие, и закономерности их изменения и, как результат, определить селективные признаки нарушения нормальных режимов.

Удельная энергия нагнетателя расходуется на процессы всасывания твердою материала $P_{\text{вак}}$, подъем гидросмеси на геометрическую высоту $P_{\text{г.в}}$, ее перемещение по пульповоду $P_{\text{м}}$ и преодоление сил инерции в переходных режимах ΔP_i .

ΔP_i является функцией двух переменных (длины линии тока и времени). Для массы элемента потока несжимаемой жидкости сечением dS и длиной dl , проектируя силы давления и силы тяжести на направление к касательной линии тока, в соответствии с законом Ньютона, уравнение движения для определенного момента времени t можно представить следующим выражением:

$$\frac{\partial P_i}{\partial l} dl + \rho g \cos \alpha dl = \rho \frac{\partial v}{\partial t} dl \quad (1)$$

здесь, α -угол между линией тока и касательной.

После интегрирования этого уравнения вдоль струйки, получим обобщенное уравнение Бернулли для неустановившегося движения, где четвертый член $\rho \int \frac{\partial v}{\partial t} dl$, называется инерционным давлением. Для трубки

тока или трубопровода постоянного сечения $\frac{\partial v}{\partial t} = \text{const}$, тогда инерционное давление определится как:

$$\Delta P_i = \rho \frac{\partial v}{\partial t} \int dl \quad (2)$$

Энергия, затрачиваемая на процесс всасывания, расходуется на подвод и захват твердого материала, изменение удельной энергии положения (геометрической высоты всасывания $P_{\text{г.в}}$), преодоление потерь давления в трубопроводе по длине и в местных сопротивлениях $\sum P_{\text{п.в}}$, а также на преодоление потерь давления в слое твердого материала ΔP_c и инерционных сил $\Delta P_{i.в}$.

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{г.в}} + P_{1-5} + \alpha_{\text{в}} Q^2 + \sum \Delta P_{i.в} \quad (3)$$

Для определения влияния элементов всасывающего устройства на процессы подвода и захвата твердого материала, выделяются местные сопротивления входного патрубка $a_{\text{вх}}$, трубопровода и камеры подпитки $a_{\text{т.п}}$, $a_{\text{к.п}}$, слоя твердого материала a_c . Кроме того, при возникновении частичных или полных подбутовок входного патрубка всасывающего устройства, трубопровода и камеры подпитки, возникают дополнительные потери давления на этих элементах за счет изменения их живых сечений и увеличения гидравлического сопротивления. Эти переменные сопротивления условно обозначены как $a_{\text{п.вх}}$, $a_{\text{п.тп}}$, $a_{\text{п.кп}}$, где $a = \Delta P / Q^2$.

На схеме замещения, приведенной на рис.3а, показаны характерные узловые точки 1, 2, 3, 4, 5, 6. Если в этих точках произвести отборы давления и сравнить их в определенном порядке, то можно осуществить контроль, параметров подвода и захвата (всасывания) твердого материала, зависящих от упомянутых выше сопротивлений, а также обнаружить начало нарушения нормального режима из-за подбутовок элементов всасывающего трубопровода. Так, увеличение сопротивления и, как следствие этого, увеличение потерь давления между точками 1-2, может служить характеристикой подбутовки камеры подпитки; между точками 1-3 - подбутовки трубопровода подпитки; между точками 2-4 - входа во всасывающий трубопровод и т.д.

Потери давления на элементах всасывающего устройства определяются в соответствии с известными методиками и поправкам изложенными в работе /1/. Динамические характеристики системы "всасывающее устройство - слой твердого материала" в переходных режимах: $Q = f_1(t)$, $P_{\text{вак}} = f_2(t)$,

$$\Delta P_{1-2} = f_3(t), \Delta P_{1-3} = f_4(t),$$

$\Delta P_{2-4} = f_5(t)$, $P_{\text{ге}} = f_6(t)$ получены при измерении давления в точках 1...6 в соответствии предложенной схемой замещения и рассмотрены в статье /2/. Характеристики получены, при единичных воздействиях регулировочного шибера, т.е. при переводе режима работы с воды на гидросмесь и обратно.

Рассмотренные схемы замещения могут быть использованы при создании систем регулирования гидротранспортных установок, также при создании систем диагностики и защиты подобных установок от аварийных режимов работы.

Отдельно следует рассмотреть вопрос измерения давления в характерных точках. Наличие твердых частиц в потоке предъявляет особые требования к отборникам давления. Рассмотрим этот вопрос на примере всасывающего устройства типа УВ-5.

Выше отмечалось, что гидротранспортные установки, оборудованные грунтовыми насосами, работают в условиях засыпки входа всасывающего трубопровода значительным слоем твердого материала (свыше двух калибров всасывающего патрубка). Для обеспечения устойчивой и надежной работы нагнетателя необходимо вести постоянный контроль параметров процесса подвода и забора твердого материала.

В гидротранспортных установках, оборудованных специальными всасывающими устройствами типа УВ-5 (рис.1), на входном патрубке всасывающего трубопровода установлены импульсные трубки 1 и 2, которые служат для отбора давления при контроле потерь напора на входе во всасывающий патрубок и подачи насоса.

Установив импульсные трубки в зумпфе (вне слоя твердого материала) и внутри камеры подпитки, а также на вертикальном и горизонтальном участках всасывающего трубопровода, можно контролировать потери давления на слое твердого материала, в подпитывающей линии, определять плотность и расход гидросмеси. Величина вакуума в переходном режиме установки определяет точку подключения демпфирующей емкости к всасывающему трубопроводу.

Необходимые точки отбора давления находятся под переменным уровнем воды и слоем твердого материала, а рабочий режим насоса изменяется, из-за изменения условий подтекания твердого материала и изменения плотности перекачиваемой гидросмеси в широких пределах. Все это существенно усложняет процесс контроля и требует специальных средств измерения разности давлений. Еще больше усложняется задача, когда результаты контроля необходимо использовать в системах автоматизации.

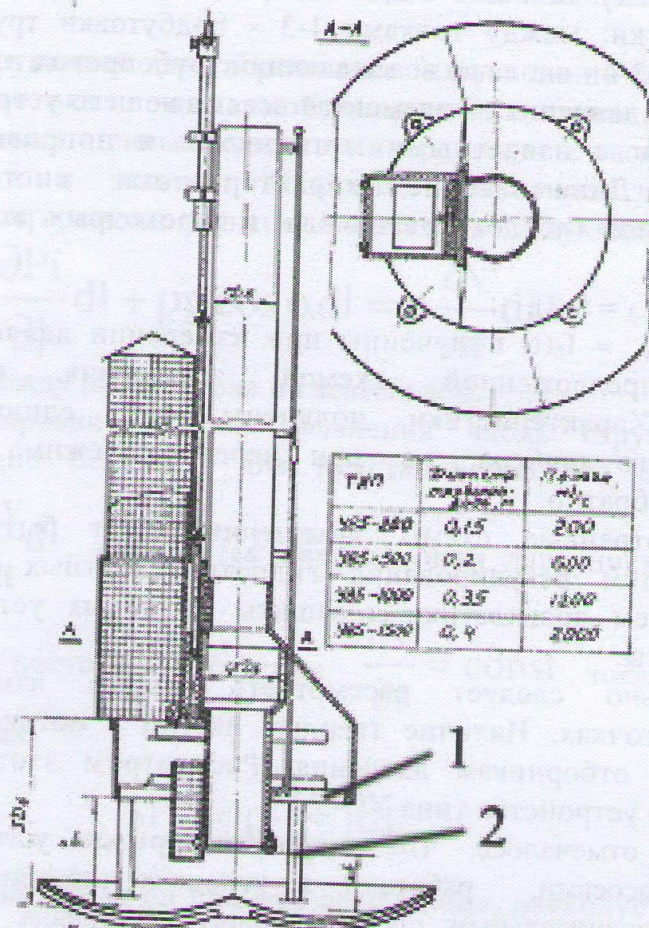


Рисунок 1 – Всасывающее устройство типа УБ-5

Устранение влияния изменяющегося уровня H_n на показания преобразователей достигается сложением сигналов гидростатического уровнемера, имеющего функцию преобразования:

$$dP(t) = \rho g dH_n(t),$$

и сигналов от пьезометров, измеряющих давление в характерных точках.

Практическое решение поставленной задачи с использованием серийных приборов с преобразователями давления в электрический сигнал требует их герметизации и высокочувствительных разделителей сред.

Результаты экспериментальных исследований и опыт промышленных испытаний системы контроля углесосных установок /1/ показали, что для контроля режима работы и выработки предупреждающих воздействий для предупреждения аварийных ситуаций в зоне всасывания гидротранспортной установки, могут быть

использованы преобразователи с погрешностью измерения до 10%, т.е. индикаторы. В качестве таких преобразователей могут быть применены дифференциальные пьезометры, у которых для подъема жидкости от точек отбора давления, используется вакуумметрическое давление, создаваемое насосным агрегатом.

В ДонНТУ разработана конструкция модуля дифференциального пьезометра с гидростатическим разделителем сред позволяющим подключение приборов системы ГСП для измерения давлений. Для визуального отсчета давления, пьезометр имеет стеклянную вставку.

Модуль пьезометра состоит из разделителя сред с отстойником, импульсных трубок со стеклянными вставками, демпфирующей емкости с предохранительным клапаном.

Разделитель сред модуля, рис.2, имеет: камеру-отстойник с заглушками 1 и 2 для ревизии отстойника и импульсной трубки; изолированную от гидросмеси разделительную камеру с игольчатым штуцером-заглушкой 7 для выравнивания уровня разделительной жидкости в камере и штуцером 8 для подключения полости вторичного дифференциального манометра.

Демпфирующая емкость состоит из двух сообщающихся камер 3 и 5. Камера 5 выполняет роль коллектора (ее размеры могут быть адаптированы при блочном подключении пьезометров) и имеет штуцер 4 для подключения к источнику вакуумметрического давления. В камере 3 установлен клапан 6 предотвращающий замыкание пьезометра при чрезмерном повышении вакуума при переходных режимах работы установки (в момент пуска насоса, при перекрытии входного патрубка насоса, резком изменении плотности перекачиваемой гидросмеси и т.д.). Импульсные трубки, в соответствии с правилами монтажа сужающих устройств, выполнены стальными диаметром 12мм.

Модули пьезометров могут собираться в блоки по два и более. При этом роль коллектора выполняет адаптированная к блоку емкость 5, см. рис.2.

Блок дифпьезометров с подключенными параллельно электрическими дифманометрами в соответствии со схемой замещения всасывающего устройства (рис. 3а) через отборники подключается к точкам измерения давления, что позволяет осуществить комплексный контроль параметров грунтозабора и режима работы гидротранспортной установки.

База между отборниками давления для контроля подачи и плотности выбирается из условия получения достаточной чувствительности преобразователей и использования серийных дифференциальных манометров. Вторые концы дифпьезометров через демпфирующую емкость подключаются к определенной точке всасывающего трубопровода, как правило, находящейся ближе к насосу.

Применение гидростатических разделителей сред позволяет измерение малых (50...200 Па) перепадов давления.

Для обоснованного выбора базы пьезометров необходимо определение максимального изменения вакуума, развиваемого нагнетателем и максимального изменения давления в точках отбора. Суммарное значение параметров определяет максимальную базу дифференциальных пьезометров.

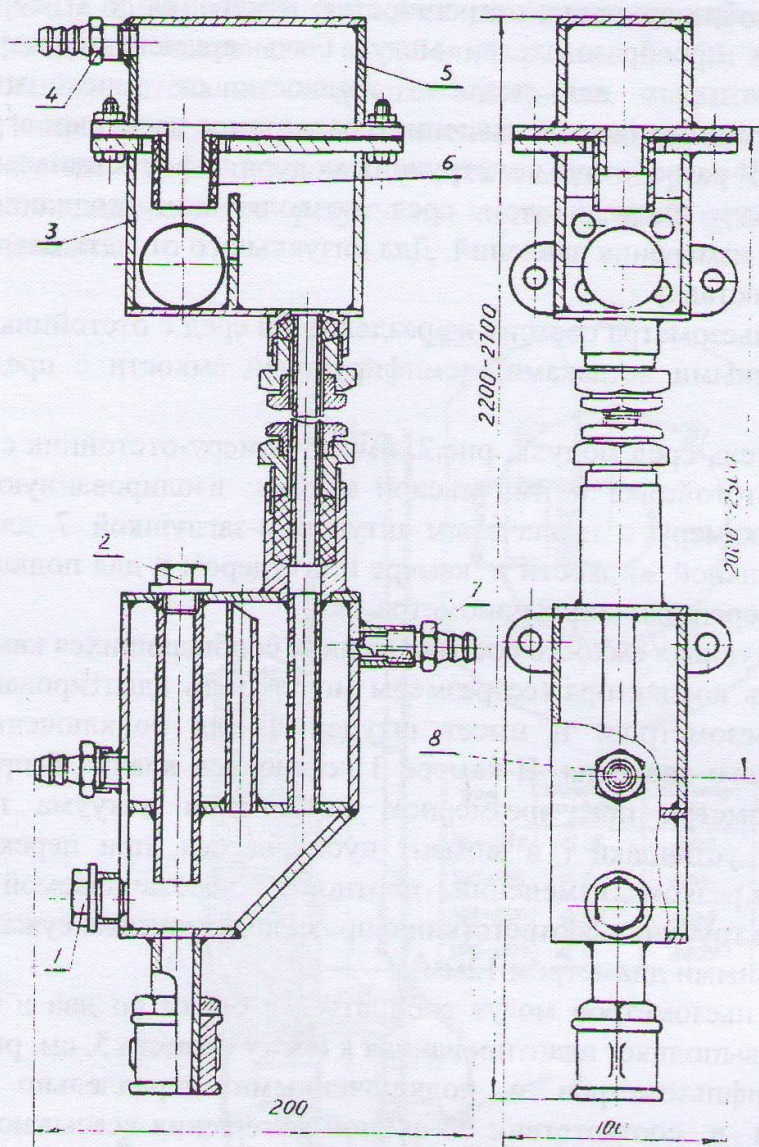


Рисунок 2 – Модуль дифференциального пьезометра

Максимальный вакуум, создаваемый насосом, определяется по зависимости:

$$H_{\text{вак.макс}} = H_{\text{г.вс}} \frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} + H_n \left(\frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} - 1 \right) + H_{\text{ном}} \frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} + h_u,$$

где, $H_{\text{г.вс}}$, H_n – геометрическая высота всасывания и глубина погружения входного сечения всасывающего трубопровода; $H_{\text{ном}}$, h_u – потери напора во всасывающей линии ($l_{\text{экв}}$, $D_{\text{вс}}$) и инерционный напор, определяемый по зависимости:

$$h_u = \frac{4l_{\text{экв}}}{\pi D_{\text{вс}}^2} \frac{dQ}{dt};$$

$\rho_{\text{гс}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – плотность гидросмеси и воды соответственно.

Давления в точках отбора (1, 2, 3, 4) соответственно:

$P_1 = \rho g H_n$; $P_2 = \bar{A}_{cl} H_{cl} Q_\phi^2$; $P_3 = \bar{A}_{kn} (Q - Q_\phi)^2$; $P_4 = \bar{A}_{ex} Q^2$, здесь \bar{A}_{cl} , \bar{A}_{kn} , \bar{A}_{ex} - удельные сопротивления слоя твердого материала, камеры подпитки, входа во всасывающий патрубок, которые в соответствии с [2] принимаются равными:

$\bar{A}_{cl} = 0,76/D_{вс}^4, c^2/m^6$; $\bar{A}_{kn} = 0,32/D_{вс}^4, c^2/m^5$; $\bar{A}_{ex} = 1,8/D_{вс}^4, c^2/m^5$;

Q и Q_ϕ - подача насоса и фильтрационный поток через слой твердого материала, m^3/c .

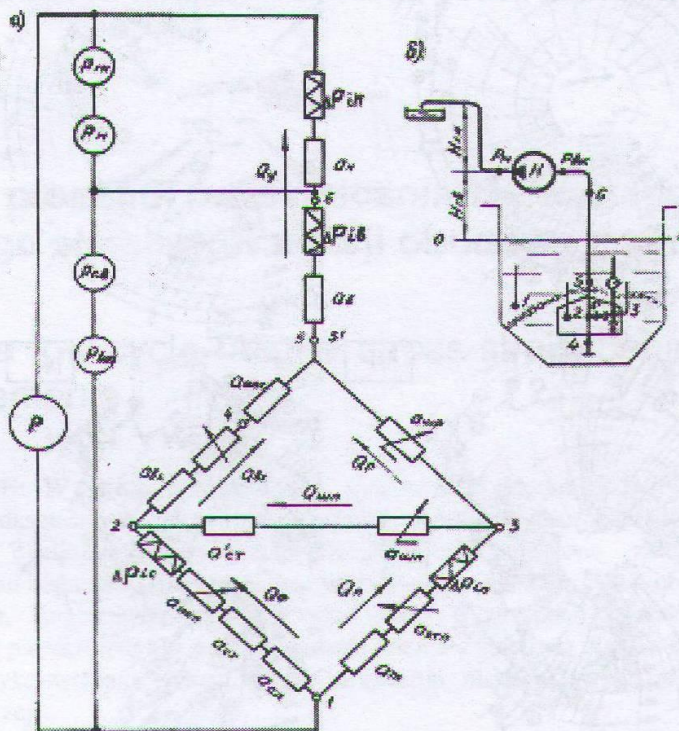


Рисунок 3 - Схема замещения гидротранспортной установки (а) и ее гидравлическая схема с подключенными к точкам отбора давления дифференциальными манометрами (б).

Подключение в эти точки блока дифференциальных манометров позволяет получить следующие параметры: P_1 - уровень воды в зумпфе; $P_1 - P_2$ - потери давления в слое твердого; $P_1 - P_3$ - потери давления в линии подпитки; $P_2 - P_4$ - потери давления на входе во всасывающий трубопровод (контролируется его подбутовка, режим вода-гидросмесь, подача нагнетателя).

Результаты работы пьезометров в лабораторных и производственных условиях показали их достаточную надежность. Динамические характеристики первичных преобразователей удовлетворяют требованиям контролируемых параметров, имеющих частоты порядка 0,02...0,05 Гц). Это дает основание использовать пьезометры для оценки динамических свойств узла дозирования гидротранспортных установок (кроме процессов связанных с гидравлическими ударами).

Примеры синхронных диаграмм самописцев полученных измерительной системой: отборник давления-дифференциальный пьезометр - электрический дифференциальный манометр - самопишущий регистрирующий прибор, имеющей частотный диапазон 0...1,0 Гц, представлены на рис.4.

Результаты обработки диаграмм показали, что данная измерительная система позволяет получать достоверную информацию о процессах грунтозабора и о

режимах работы гидротранспортной установки и может использоваться в локальных автоматизированных, а также в комплексе автоматизированных систем управления технологическими процессами.

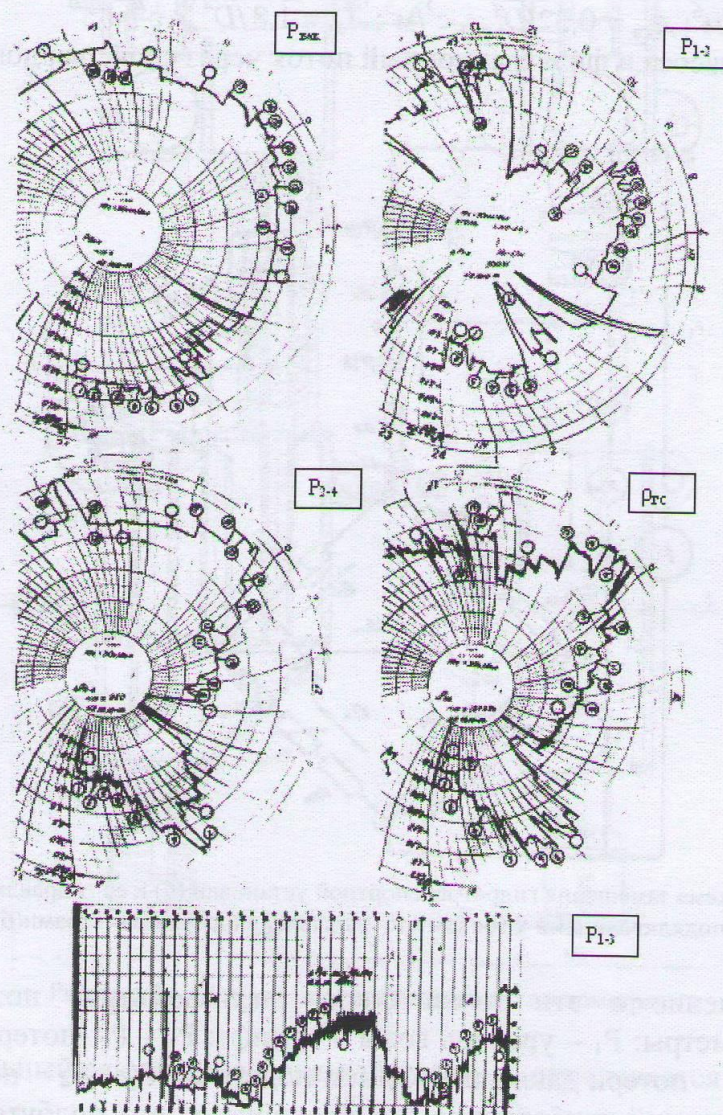


Рис.4 – Примеры диаграмм самописцев

Список источников

- [1] Моргунов В.М. Исследование узла дозирования углесосных станций гидрошахт с целью создания системы контроля и опережающей защиты. – Автореф. дис. канд. техн. наук. Донецк, 1978, 18с.
- [2] Моргунов В.М. Определение потерь давления во всасывающих трактах стационарных гидротранспортных установок в переходных режимах работы.-Труды ДонГТУ. Вып. 7,серия горно-электро-механическая,- Донецк; ДонГТУ, 1999.-с. 179 - 186.

Recenzent: Prof. dr hab. inż., dr h.c. Walery Szuścik