

**В.В. Мельник, Н.Г. Малухин**  
**ОСОБЕННОСТИ ПОДЪЕМА ПУЛЬПЫ**  
**РАЗЛИЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ПРИ**  
**СКВАЖИННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УГЛЕДОБЫЧИ**

# П

одсистеме гидроподъема при скважинной гидравлической добыче (СГД) угля предшествуют процессы пульпоприготовления и всасывания. Правильность выбора технических и технологических решений процесса всасывания определяет оптимальную производительность гидроподъема в целом. Формирование пульпы при всасывании осуществляется посредством градиента давления у всасывающего органа эрлифта гидроэлеватора или комбинированного выдачного устройства [1,2]. Например, процесс всасывания гидроэлеватора находится во взаимосвязи с рабочими параметрами активного и пассивного потоков, а также с необходимым давлением нагнетания.

Процесс формирования области разрежения [3] включает:

- режим герметизации камеры всасывания (гидроэлеватор эксплуатируется в режиме кавитации);
- оптимальный режим работы гидроэлеватора (гидроэле-ватор работает при максимальном КПД, т. е. при максимально возможной высоте подъема для предельной производительности по всасыванию);
- режим разгерметизации камеры всасывания (возникает прогрессивное развитие обратных токов жидкости в камере смешения);
- нулевой режим (расход обратных потоков жидкости достиг суммарного расхода активного и пассивного потоков, происходит переток смеси через конфузор в зумпф).

Смещение того или иного режима возможно при изменении:

- противодействия в диффузоре (изменение глубины добычи);
- параметров рабочего потока (изменение расходно-напорных характеристик насоса);
- параметров пассивного потока (эксплуатация гидроэлеватора при избыточных давления поступающей в

конфузор пульпы).

Перечисленными мероприятиями возможно лишь косвенно влиять на транспортирующую способность гидроэлеватора по всасыванию и подъему пульпы за счет изменения поперечных размеров гидроэлеватора.

Всасывание и гидроподъем угля сказываются на рабочих характеристиках гидродобычного скважинного агрегата. Потери

напора на преодоление сопротивлений в трубопроводе изменяются в соответствии с закономерностями гидравлического транспортирования угля по трубам. Полные потери напора и затраты энергии в нагнетательном трубопроводе согласно [4] определяются по следующей зависимости

$$\Delta H_{nom} = k_2 \frac{\rho_{cm}}{\rho_0} H_m + \frac{\rho_{cm}}{\rho_0} H_2, \text{ м} \quad (1)$$

где  $\Delta H_{nom}$  – полные потери напора, м;  $\rho_{cm}$ ,  $\rho_0$  – соответственно, плотность пульпы и воды, кг/м<sup>3</sup>;  $H_n$  – потери на преодоление сопротивлений, м;  $H_2$  – высота подъема (глубина залегания обрабатываемого угольного пласта) м;  $k_2$  – коэффициент недоучета сопротивлений ( $k = 1,05-1,1$ ).

Во всасывающем трубопроводе гидродобычного скважинного агрегата потери напора связаны с преодолением сопротивлений, обуславливающих отрыв кусков угля с поверхности зумпфа и последующего подъема его в камеру смешения гидроэлеватора.

Величина потерь напора линии всасывания гидроэлеватора представляется суммой статических  $\Delta H_{cm}$  и динамических  $\Delta H_{дин}$  потерь:

$$\sum \Delta h_{conp} = \Delta H_{cm} + \Delta H_{дин} \quad (2)$$

Причем, возможны два основных варианта процесса всасывания пульпы в зумпфе очистной камеры:

а) при отрицательном подпоре угольной гидросмеси:

$$\sum h_{conp} = \left[ (H - H_1) \cdot \frac{\rho_{cm} - \rho_0}{\rho_0} + H_1 \cdot \frac{\rho_{cm}}{\rho_0} \right] + \left[ \sum \Delta h_{ec} \cdot \frac{\rho_{cm}}{\rho_0} \right] \quad (3)$$

б) при положительном подпоре:

$$\sum h_{conp} = \left[ H \frac{\rho_{cm} - \rho_0}{\rho_0} - H_1 \right] + \left[ \sum \Delta h_{ec} \cdot \frac{\rho_{cm}}{\rho_0} \right] \quad (4)$$

Динамические потери гидроэлеватора при всасывании определяются из следующего выражения:

$$\sum \Delta h_{ec} = \left( 1 + \xi_{экр} + \xi_{ec} + \xi_{вк} + \lambda \frac{H}{D_{ec}} \right) \frac{V_1^2}{2g} \quad (5)$$

где  $\xi_{экр}$ ,  $\xi_{вс}$  – соответственно, коэффициенты сопротивлений

при экранировании потока стенками зумпфа и всасывающего наконечника;  $H, D_{ec}$  – соответственно длина и диаметр всасывающей линии гидроэлеватора, м;  $H_I$  – величина затопления гидроэлеватора, м.

Непосредственно камеру всасывания гидроподъемного аппарата (гидроэлеватора, эрлифта или комбинированного устройства) можно рассматривать как всасывающий патрубок гидротранспортных установок при технологии всасывания «из-под слоя» [4, 5].

Причем процесс всасывания представляет собой вынос твердого фильтрационным потоком за счет действия гидростатического перепада давлений внутри и вне разгрузочного трубопровода, т. е. градиента давления.

Несмотря на то, что процесс всасывания пульпы изучен гораздо меньше, чем процесс гидротранспорта, но именно этот процесс определяет эффективность всех последующих подсистем скважиной гидродобычи угля.

Если для расчета процесса гидротранспорта имеется несколько десятков методик, например, проф., В.С. Мучника, канд. техн. наук А.И. Куприна, проф. Грубы, проф. Н.Г. Малухина, то общепринятых инженерных методов расчета процесса всасывания твердого (угля в частности) нет вообще. Исследования процесса всасывания твердого, выполненные различными исследователями пока не позволили сделать теоретические обобщения и создать единую методику расчета.

Как правило, большинство исследователей ограничивались эмпирическим обоснованием указанного процесса и наилучших геометрических форм или гидравлических параметров устройств различных конструкций.

Эффективность трубопроводного гидротранспортирования пульпы в основном зависит от размеров трубопровода, скорости движения пульпы, плотности, гранулометрического состава и формы кусков транспортируемой горной массы. Процесс же всасывания, кроме того, зависит еще и от степени приближения всасывающего наконечника к забою, скорости перемещения скважинного гидродобычного агрегата (вращения), конфигурации очистной камеры и всасывающего наконечника, силы сцепления между кусками горной массы и ряда других факторов.

Необходимо отметить, что наиболее важной частью задачи всасывания пульпы является обоснование и разработка методики расчета объемного веса всасываемой угольной гидросмеси, так как от этого зависит производительность гидродобычного агрегата и затраты энергии на гидроподъем. Отсутствие такой методики делает все расчеты по гидротранспорту и обогащению угля весьма условными, так как неизвестно, с какой концентрацией угольной гидросмеси будет протекать процесс по всей технологической цепи.

Всасывание пульпы (угля) может осуществляться двумя способами:

- за счет разряжения во всасывающей трубе гидродобычного агрегата;
- за счет избыточного давления, необходимого для создания локального взвешенного слоя твердого у всасывающего

отверстия.

Весьма важным параметром при подъеме пульпы различными устройствами является допустимая плотность гидросмеси при всасывании.

Созданный благодаря тангенциальному подводу жидкости момент количества движения у всасывающего отверстия подъемного устройства создает режим всасывания с возникновением локального взвешенного слоя.

По периметру всасывающего наконечника в этом случае на забой действуют две массовые силы тяжести и центробежная сила.

Поскольку ускорение является векторной величиной, результирующее ускорение в поле действия гравитационно-центробежных сил определяется по следующему выражению

$$a = \sqrt{q^2 + \omega^2 r} \quad (6)$$

где  $a$  – результирующее ускорение закрученного потока у всасывающего наконечника, м/с;  $q, \omega$  – свободное и угловое ускорение, м/с;  $r$  – радиус всасывающего трубопровода, м.

Таким образом, гидравлическая крупность в поле действия гравитационно-центробежных сил у всасывающего отверстия выдачного устройства определяется по выражению

$$V_{закр} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\rho_m - \rho_0}{\rho_0} \cdot \frac{ad_{ms}}{\psi}} \quad (7)$$

где  $V_{закр}$  – гидравлическая крупность у всасывающего трубопровода в зумпфе очистной камеры в поле искусственного создания гравитационно-центро-бежных сил, м/с;  $d_{ms}$  – диаметр частиц угля, м;  $\psi$  – коэффициент сопротивления частиц потоку;  $\rho_m, \rho_0$  – соответственно плотность угля и воды, кг/м<sup>3</sup>.

При всасывании угля "из-под слоя" вся вода, входящая во всасывающий трубопровод должна профильтровываться через взвешенный закрученным потоком слой угля. Под давлением фильтрационного потока уголь проходит в устье всасывающего трубопровода. Образующаяся каверна непрерывно заполняется углем. В результате этого в зоне всасывания происходит непрерывное движение угля сверху вниз к всасывающему отверстию трубопровода. Однако при движении пористость и объемный вес угля практически не изменяются. Это дает основание рассматривать движущийся уголь как тяжелую жидкость с объемным весом, равным объемному весу покоящегося угля с порами, заполненными водой.

Следовательно, за счет градиента давлений объемный вес угольной гидросмеси (пульпы), поступающей во всасывающий трубопровод равен

$$\rho_{см} = \frac{\rho_m Q_m + \rho_0 Q_0}{Q_0 + Q_0} \quad (8)$$

где  $Q_m, Q_0$  – соответственно объемные расходы угля и воды, м<sup>3</sup>/с.

Секундный объемный расход угля определяется из следующего выражения:

$$Q_m = \omega_{ec} V_{ec} (1 - m) \quad (9)$$

где  $\omega_{ec}$  – площадь всасывающего отверстия, м<sup>2</sup>.

Секундный расход воды возможно определить по формуле:

$$Q_0 = \omega_0 V_{\text{вс}} m + V_0 V_{\text{ср}} \quad (10)$$

где  $V_{\text{ср}}$  – скорость фильтрационного расхода воды во всасывающий трубопровод, м/с.

Подставив значения  $Q_m$  и  $Q_0$  в зависимость (8), получим:

$$\rho_{\text{см}} = \rho_m (1-m) + \rho_0 \left( \frac{m + \frac{V_{\text{ср}}}{V_{\text{вс}}}}{1 + \frac{V_{\text{ср}}}{V_{\text{вс}}}} \right) \quad (11)$$

Рассматривая процесс всасывания, как движение жидкости с большой плотностью, подчиняющейся всем гидравлическим закономерностям истечения, получим скорость входа потока во всасывающий трубопровод

$$V_{\text{вс}} = \varphi \sqrt{\frac{2q\Delta H \rho_0}{\rho_m (1-m) + \rho_0 m}} \quad (12)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости ( $\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_{\text{вс}}}}$ );  $\xi_{\text{вс}}$  –

коэффициент сопротивления при входе псевдооживленного потока во всасывающий трубопровод;  $m$  – коэффициент пористости твердого при всасывании ( $m \approx 0,4$ );  $\Delta H$  – перепад давления внутри и вне всасывающей трубы, м. вод. ст.

Принимая во внимание квадратичный закон фильтрации воды, и выражая при этом расход жидкости через скорость, получим:

$$\Delta H = \frac{R_0}{48k^2} V_{\text{ср}}^2 \quad (13)$$

или

$$V_{\text{ср}} = 6,93k \sqrt{\frac{\Delta H}{R_0}} \quad (14)$$

Подставляя (14) в уравнение (11), получим предельно достижимую плотность гидросмеси при всасывании в зависимости от плотности гидросмеси при всасывании в зависимости от плотности горной массы, радиуса всасывающей трубы и диаметра твердого

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_m (1-m) + \rho_0 \left( m + \frac{6,93 \sqrt{\rho_m (1-m) + \rho_0 m}}{\varphi_0 \sqrt{2qR_0 \rho_0}} \right)}{1 + \frac{6,93 \sqrt{\rho_m (1-m) + \rho_0 m}}{\varphi_0 \sqrt{2qR_0 \rho_0}}} \quad (15)$$

$$T : \mathcal{K} = \frac{\rho_{\text{см}} - \rho_0}{\rho_m - \rho_0}, \quad S = \frac{T}{T + \mathcal{K}} = \frac{\rho_{\text{см}} - \rho_0}{\rho_m - \rho_0} \quad (16)$$

Исходя из анализа опытных данных, зависимость коэффициента фильтрации от крупности горной массы имеет вид:

$$k = 4d_{\text{TB}}^{0,7} \quad (17)$$

Обозначим с учетом (17) выражение (14) через  $A$ , Получим:

$$A = \frac{V_{\text{ср}}}{V_0} = \frac{6,93 \cdot 4d_{\text{TB}}^{0,7} \sqrt{\rho_m (1-m) + \rho_0 m}}{\varphi_0 \sqrt{2qR_0 \rho_0}} \quad (18)$$

Тогда уравнение (15) примет вид

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_m (1-m) + \rho_0 (m + A)}{1 + A} \quad (19)$$

По выражению (19), имеющего хорошее опытное подтверждение, можно рассчитать предельную консистенцию угольной гидросмеси при всасывании в зумпфе очистной камеры гидродобычным агрегатом

в зависимости от диаметра всасывающего трубопровода, крупности и плотности всасываемого угля.

Как показывают расчеты, при крупности угля до 0,03 м и диаметра всасывающего трубопровода до 0,15 м максимальная плотность перемещаемой гидроэлеватором угольной смеси составит  $\rho_{\text{см}} = 1,196 - 1,74$

Предложенные зависимости (15) и (19) являются вполне пригодными и работоспособными при определении параметров подъема пульпы различными выдачными устройствами или аппаратами при СГД угля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник В.В. Теоретическое обоснование процессов добычи угля скважинными и гидроагрегатами. Отчет НИР МГУ. Ответственный исполнитель. – М.: МГУ, 1994. -101 с.

2. Гейер В.Г., Груба В.И. Расчеты фильтрационных потоков при разбуривке всасывающего устройства. Разработка месторождений полезных ископаемых. - Донецк: ДЛИ, 1965, №5. - С. 7 - 19.

3. Заря А.И. Исследования движения твердой фракции. - Донецк: ДПИ, 1960, вып. 10, т.46. - С. 79-95.

4. Юфрин А.П. Гидромеханизация - М.: Стройиздат, 1974. - 223 с.

5. Малыгин С.С., Быков А.И. Применение эрлифтов для зумпфного

водоотлива шахт и механизации чистки зумпфов скиповых стволов. Гидравлическая добыча угля. 1965, №6 - С. 7-12.

6. Винда Е.В. Всасывающие устройства эрлифтных гидроподъемов. Разработка месторождений полезных ископаемых. - Донецк: ДПИ, 1965, №5.-С. 19-58.

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

*Мельник Владимир Васильевич* – доцент, кандидат технических наук, кафедра «Подземная разработка пластовых месторождений», Московский государственный горный университет.

*Малухин Николай Григорьевич* – профессор, доктор технических наук, Московский государственный горный университет.