

ные технологии, что позволило ликвидировать 20–30 летнее отставание в области тоннелестроения от зарубежного.

Библиографический список

1. Недвига С.Н., Хорунжий Ю.Т. Способы вскрытия выбросоопасных пластов Донбасса. Сб. трудов всесоюзного научно-техн. совещания. — М.: Недра, 1970. — С. 327–331.
2. Власов С.Н., Ходош В.А., Черняховская С.Э. Применение экранов из труб при строительстве тоннелей // Транспортное строительство, 1980. — № 5. — С. 51–53.
3. Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Технический отчет об изысканиях, проектировании и строительстве. — М.: ТИМР, 1999. — С. 237.

© Лысиков Б.А., Сирачев А.Ж., 2003

УДК: 622.243.14.

Канд. техн. наук ФИЛИМОНЕНКО Н.Т. (ДонНТУ)

УТОЧНЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ СКОРОСТИ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ОЧИСТНОГО АГЕНТА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОМЫВКЕ СКВАЖИН

Вопрос разработки и совершенствования методики расчета необходимой скорости восходящего потока $V_в$ при пульсирующей промывке скважин и оценки перспектив применения этого способа промывки при бурении в осложненных условиях рассмотрен автором в [1–6]. Известны формулы (1), (2), (3) для расчета вышеназванного параметра. Формула (1) [1–6] — базовая. Формулы (2) [4] и (3) [6] — уточненные.

$$V_в = \frac{(t_в + t_{зан})(C + U)}{t_в}; \quad (1)$$

$$V_в = \frac{(t_в + t_{зан})(C \cdot \varepsilon + U)}{t_в}; \quad (2)$$

$$V_в = C \cdot \varepsilon + U. \quad (3)$$

где C , U — скорости выноса и оседания частицы шлама конкретной фракции восходящим потоком, м/с; $t_в$, $t_{зан}$ — длительности этапов вытеснения и заполнения вытеснительной камеры, с; ε — степень изменения C на этапе вытеснения рабочего цикла пневматического вытеснителя.

Следует отметить, что автору не известны другие исследования, имеющие отношение к рассматриваемому вопросу.

Ниже приводятся аргументы в пользу необходимости дальнейшего уточнения известных формул.

По формуле (1).

1. Логика ее вывода [1] предусматривает, что прогнозируемая средняя скорость восходящего потока $V_в$ в пространстве между стенками скважины и колонной бурильных труб на этапе вытеснения $t_в$ должна обеспечить подъем частицы шлама заданной фракции на такую высоту, величина которой не позволила бы частице возвратиться к исходной точке или опуститься ниже ее при оседании на этапе заполнения $t_{зан}$ вытеснительной камеры, когда отсутствует промывка скважины. Это гаран-

тирует постоянное перемещение частиц шлама восходящим потоком вверх. Однако, призабойная пульсирующая промывка не обеспечивает вынос шлама на дневную поверхность с последующим осаждением его в отстойниках по причине отсутствия замкнутости гидравлического контура скважины. Поэтому очистной агент будет постоянно насыщаться шламом.

2. Формула для расчета входящего в (1) параметра C корректна только для прямой промывки с выходом жидкости на дневную поверхность, поскольку логика ее вывода [7] требует заданное и постоянное по всему стволу скважины обогащение промывочной жидкости выбуренным шламом. В нашем случае промывка внутрискважинная, при которой трудно обеспечить это условие.

3. Не учитывается влияние винтообразного движения частицы на ее скорость вследствие вращения бурового снаряда при расчете пути, пройденного ею во время оседания при заполнении вытеснительной камеры за время $t_{зан}$.

4. Не принимается во внимание продолжительность движения жидкости по инерции. Исследования, проведенные автором [8], показали, что при наличии в скважине большого столба жидкости, последний может обладать такими инерционными свойствами, которые делают этап движения жидкости по инерции соизмеримым с другими этапами рабочего цикла (ниже будет показано на конкретном примере).

По формуле (2).

Учет степени изменения C на этапе вытеснения рабочего цикла пневматического вытеснителя повысил корректность формулы (2), но для нее остались справедливы все негативные моменты, приведенные применительно к первой формуле.

По формуле (3).

Последняя учитывает [6] неравномерность зашламования столба жидкости по гидравлическому контуру скважины. Однако, как показали результаты дальнейших исследований, игнорировать продолжительность всех этапов рабочего цикла применительно к пневматическому вытеснителю с воздухораспределителем, установленным на поверхности, было бы не корректным.

Общим недостатком формул (1), (2) и (3) помимо вышеназванных является то, что расчеты, проведенные по ним, дают значение необходимой средней скорости восходящего потока $V_в$, при котором в течение рейса бурения очистной агент будет постоянно насыщаться шламом. Это делает проблемным надежную эксплуатацию пневматических вытеснителей с погружным воздухораспределителем, которые требуются к чистоте очистного агента.

Таким образом, в плане уточнения необходимой средней скорости восходящего потока $V_в$ при пульсирующей промывке скважин логика ее вывода должна обеспечить выполнение следующих функций:

- вынос шлама из призабойной зоны в пространство над верхним торцом наружной шламовой трубы с целью последующего осаждения его в ней;
- недопустимость обогащения шламом восходящего потока.

Это может быть только в том случае, если шлам будет максимально собираться в наружной шламовой трубе.

Рассмотрим призабойную часть скважины (рис.1). В восходящем потоке гидравлического контура выделим две частицы шлама одинаковой фракции. Предположим, что данная фракция шлама доминирует при разрушении забоя скважины конкретным породоразрушающим инструментом. Пусть к моменту начала этапа вытес-

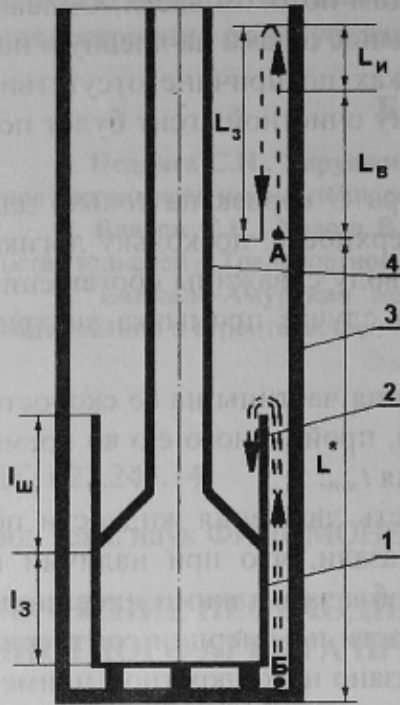


Рис.1. Призобойная зона скважины: 1 — колонковая труба, 2 — шламовая труба, 3 — скважина, 4 — бурильные трубы

нения первая частица находится в точке А кольцевого пространства между стенками скважины и бурильными трубами. Вторая — в точке Б на забое скважины.

Покажем теоретические траектории перемещения этих частиц в восходящем потоке гидравлического контура скважины в течение рабочего цикла пневматического вытеснителя при которых будет отсутствовать обогащение шламом восходящего потока жидкости. Для того чтобы частица А в процессе работы пневматического вытеснителя не продвигалась вверх, она по окончании рабочего цикла должна оказаться по крайней мере на том же расстоянии от забоя скважины L^* , на котором была в начале этапа вытеснения, но не выше. Теоретическая траектория движения частицы на рис.1 показана одинарной пунктирной линией. Следовательно, для пневматического вытеснителя с погружным воздухораспределителем должно выполняться условие:

$$L_v + L_u = L_{зан}. \quad (4)$$

Для пневматического вытеснителя с воздухо-распределителем, установленным на поверхности должно выполняться условие (5).

$$L_v + L_u = L_1 + L_2 + L_3 + l_4 + L_{зан}, \quad (5)$$

где L_v , L_u , $L_{зан}$ — расстояния, на которые переместится частица шлама на этапах соответственно вытеснения, движения по инерции и заполнения вытеснительной камеры, м; L_1 , L_2 — расстояния, на которые переместится частица шлама на этапах заполнения сжатым воздухом объема нагнетательной линии и его выхлопа из нее применительно к пневматическому вытеснителю с поверхностным воздухораспределителем, м; L_3 , L_4 — расстояния, на которые переместится частица шлама за периоды прохождения упругой волны по нагнетательной линии соответственно после окончания этапа вытеснения и заполнения.

В вытеснителях с погружным воздухораспределителем объем нагнетательной линии используется, как ресивер. Она уже заполнена сжатым воздухом. Что касается времени выхлопа воздуха из вытеснительной камеры, то оно несоизмеримо мало по сравнению с продолжительностью выхлопа из всей нагнетательной линии. Поэтому в правой части (4) отсутствуют L_1 и L_2 .

Левую часть уравнения (4) можно записать следующим образом:

$$L_v + L_u = \frac{1}{Z}(V_v - U)(t_v + t_u), \quad (6)$$

где V_v — средняя скорость восходящего потока жидкости на этапе вытеснения t_v и движения по инерции t_u , м/с; U — скорость погружения частицы шлама в спокойной жидкости (рассчитывается по формуле Риттингера), м/с; Z — коэффициент, учиты-

вающий винтообразное движение частиц вследствие вращения бурового снаряда ($Z=1.2-1.3$); t_e и t_u рассчитываются по разработанной автором методике.

Правые части уравнений (4) и (5) будут иметь вид соответственно (7) и (8).

$$L_{зан} = \frac{1}{Z} U t_{зан}, \quad (7)$$

$$L_1 + L_2 + L_3 + l_4 + L_{зан} = \frac{1}{Z} U [t_{зк} + t_{ев} + (t_{y1} - t_u) + t_{y2} + t_{зан}]. \quad (8)$$

где t_3 — время заполнения вытеснительной камеры, с; $t_{зк}$, $t_{ев}$ — время заполнения колонны бурильных труб сжатым воздухом и время его выхлопа применительно к пневматическому вытеснителю с воздухораспределителем, установленным на поверхности, с; t_{y1} , t_{y2} — время прохождения упругой волны по нагнетательной линии соответственно после окончания этапов вытеснения и заполнения. Поскольку эти промежутки времени будут практически равны обозначим их t_y .

Подставляя в правую часть уравнения (4) выражение (6), а в левую — (7) и решая полученное уравнение относительно V_e , получим среднюю скорость восходящего потока промывочной жидкости (9), при которой частица шлама не будет перемещаться по гидравлическому контуру восходящего потока жидкости. Данная формула применима в случае эксплуатации вытеснителей с погружным воздухораспределителем.

$$V_e = \frac{U(t_e + t_u + t_3)}{t_e + t_u}. \quad (9)$$

Для расчета средней скорости восходящего потока промывочной жидкости в случае эксплуатации вытеснителей с поверхностным воздухораспределителем нужно использовать формулу (10), полученную аналогично (9).

$$V_e = \frac{U[t_e + t_u + t_{зк} + t_{ев} + (t_y - t_u) + t_y + t_{зан}]}{t_e + t_u}. \quad (10)$$

Теперь рассмотрим траекторию перемещения частицы, находящейся в момент начала рабочего цикла на забое скважины (точка Б). Траектория показана двойной пунктирной линией. Скорость выноса частицы в течение этапа вытеснения и движения жидкости по инерции рабочего цикла должна обязательно обеспечить ее перемещение в пространство, расположенное выше наружной шламовой трубы 2. В противном случае будет наблюдаться зашламование призабойной зоны скважины. Таким образом, частица шлама должна пройти расстояние не меньше, чем $(l_3 + l_u)$. Площадь сечения кольцевого пространства между стенками скважины 4 и колонковой 1 и шламовой 2 трубами ($S_1 - S_3''$) меньше, чем площадь сечения кольцевого пространства между стенками скважины 4 и бурильными 3 трубами ($S_1 - S_2''$). Тогда из условия неразрывности потока эта скорость V_e^* в кольцевом пространстве между стенками скважины и колонковой и шламовой трубами будет определяться выражением (11).

$$V_e^* = V_e \psi, \quad (11)$$

где $\psi = \frac{S_1 - S_2^H}{S_1 - S_3^H}$ (получено из условия неразрывности потока).

Если бы эта частица на этапе вытеснения и движения жидкости по инерции двигалась все время в кольцевом пространстве между стенками скважины и колонковой и шламовой трубами, то она прошла бы расстояние S^* , определяемое формулой (12).

$$S^* = V_6 \psi (t_6 + t_u). \quad (12)$$

Теперь остается проверить, чтобы расстояние S^* было не меньше $(l_3 + l_{ш})$. Иначе частица шлама не выбросится в пространство над наружной шламовой трубой.

Таким образом, мы можем прогнозировать среднюю величину необходимой скорости восходящего потока в течении рабочего цикла пневматического вытеснителя при пульсирующей промывке скважины V_6 (9) и (10), суммарную длину колонковой и шламовой труб при которых частичка шлама (12), находящаяся к моменту начала рабочего цикла в точке Б, будет выноситься в пространство выше шламовой трубы, а частичка А будет дефилировать над шламовой трубой, не продвигаясь вверх по гидравлическому контуру скважины. Полученные формулы не требуют расчета параметра C и исключают все сопряженные с этим вышеотмеченные спорные моменты.

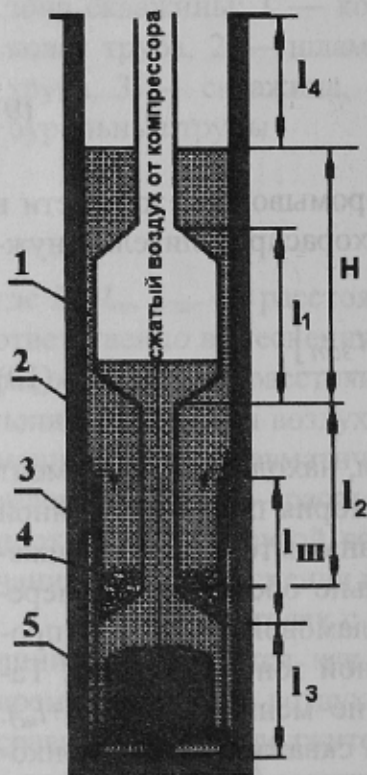


Рис.2. Расчетная схема: 1 — пневматический вытеснитель, 2 — скважина, 3 — шламовая труба, 4 — шлам, 5 — колонковая труба

Рис.2 иллюстрирует схему, применительно к которой был проведен расчет этапов рабочего цикла $t_6, t_u, t_{зан}, t_{зю}, t_{66}, t_y$ пневматического вытеснителя по методикам [8,9] для конкретных условий бурения. Полученные значения $t_6, t_u, t_{зан}, t_{зю}, t_{66}, t_y$ использовались при прогнозировании V_6 и сведены в табл. 1 и табл. 2. В них так же приводится подача Q пневматического вытеснителя, соответствующая рассчитанному значению V_6 .

На рис.3 показан рабочий цикл для пневматического вытеснителя с воздухораспределителем, установленным на поверхности. применительно к следующим условиям: породоразрушающий инструмент — твердосплавная коронка диаметром 76 мм.; длина колонковой трубы $l_3=4.5$ м.; длина шламовой трубы $l_{ш}=1.5$ м.; длина вытеснительной камеры $l_1=2$ м.; наружный диаметр пневматического вытеснителя, шламовой и колонковой труб=108 мм.; колонна бурильных труб — СБТМ-50; длина колонны бурильных труб под пневматическим вытеснителем $l_2=500$ м.; длина колонны бурильных труб над пневматическим вытеснителем $l_4=200$ м.; заглубление вытеснительной камеры под уровень жидкости в скважине $H=10$ м.

Параметры очистного агента следующие. Жидкость — не ньютоновская. Плотность восходящего ржв потоков равна 1010 кг/м^3 . Структурная вязкость=0.005 Пас. Динамическое напряжение сдвига=1 Па. Плотность породы на забое $\rho_n=2500 \text{ кг/м}^3$.

Табл.1. результаты расчета V_a и Q при $l_4=200$ м и $l_2=500$ м. (погружной воздухораспределитель)

Рассчитываемые параметры	Эквивалентный диаметр δ частицы шлама, м.											
	$\delta=0.001$ м.				$\delta=0.002$ м.				$\delta=0.003$ м.			
	Номера расчетных формул											
	(1)	(2)	(3)	(9)	(1)	(2)	(3)	(9)	(1)	(2)	(3)	(9)
V_a , м/с	0.38	0.36	0.21	0.17	0.47	0.45	0.26	0.24	0.53	0.52	0.31	0.30
Q , л/мин	58.60	55.51	32.38	26.24	72.47	69.39	40.09	37.00	81.7	80.1	47.80	46.26

Сжатый воздух подается компрессором производительностью $0.083 \text{ м}^3/\text{с}$. при давлении в ресивере 0.7 МПа .

Уровень жидкости в скважине подвижный. Сущность понятия «неподвижный» и «подвижный» уровень жидкости в скважине раскрыта в [9].

Табл.2. результаты расчета V_a и Q при $l_4=200$ м и $l_2=500$ м. (поверхностный воздухораспределитель)

Рассчитываемые параметры	Эквивалентный диаметр δ частицы шлама, м.		
	$\delta=0.001$ м.	$\delta=0.002$ м.	$\delta=0.002$ м.
V_a , м/с	0.29	0.42	0.51
Q , л/мин	44.71	64.76	78.64

На рис.4 приведен рабочий цикл пневматического вытеснителя с воздухораспределителем, установленным на поверхности при тех же условиях.

Из рис. 4 видно, что продолжительность t_u $t_{зю}$ $t_{вв}$ t_y соизмерима с длительностью $t_в$ и $t_з$. Поэтому t_u $t_{зю}$ $t_{вв}$ t_y будут оказывать существенное влияние на величину V_a .

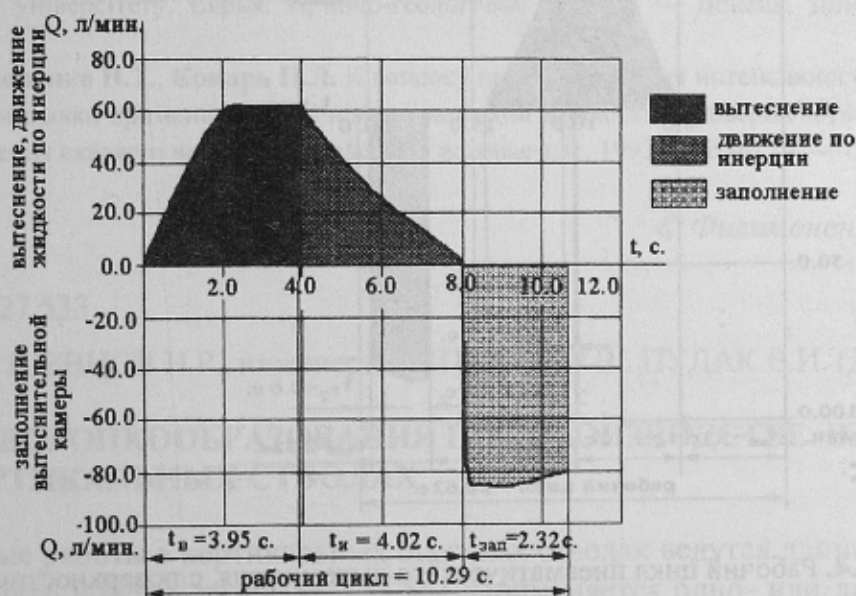


Рис.3. Рабочий цикл пневматического вытеснителя, с погружным воздухораспределителем

Подача погружного пульсационного вытеснителя в течение этапа вытеснения, а, следовательно, и всего рабочего цикла не постоянна. Именно это существенно отличает внутрискважинную пульсирующую промывку с помощью пневматических вытеснителей от традиционной с помощью поршневых или плунжерных промывоч-

ных насосов, при которой подача промывочной жидкости не зависит от вышеназванных параметров очистного и рабочего агентов и конкретных условий бурения. Поэтому получаемые значения V_s не универсальны, а применимы только к конкретным условиям бурения и параметрам очистного и рабочего агентов, определяющим продолжительность этапов рабочего цикла погружного вытеснителя.

Как и следовало ожидать, расчет V_s применительно к воздухораспределителю с погружным воздухораспределителем по уточненной формуле (9) дает меньшее значение этого параметра, чем по формулам (1), (2), (3).

Из анализа табл.1 можно сделать следующие выводы. Требуемое среднее значение V_s и Q применительно к условиям, для которых сделан расчет, для частиц шлама эквивалентным диаметром δ от 0.001 до 0.003 м значительно меньше, чем прогнозируемое. Так требуемое значение Q находится в пределах 26.24–46.26 л/мин, а прогнозируемое в пределах 60 л/мин (рис.3). Следовательно в течении рейса бурения промывочная жидкость будет постоянно обогащаться шламом. Для того чтобы приблизить требуемое значение к прогнозируемому, следует изменить те параметры, которые определяют интенсивность промывки на этапе вытеснения. Например, уменьшить давление в ресивере или увеличить заглубление вытеснительной камеры под уровень жидкости в скважине и повторно выполнить расчет. Если этого сделать нельзя, то в данных условиях следует применять менее требовательный к чистоте очистного агента пневматический вытеснитель с поверхностным воздухораспределителем.

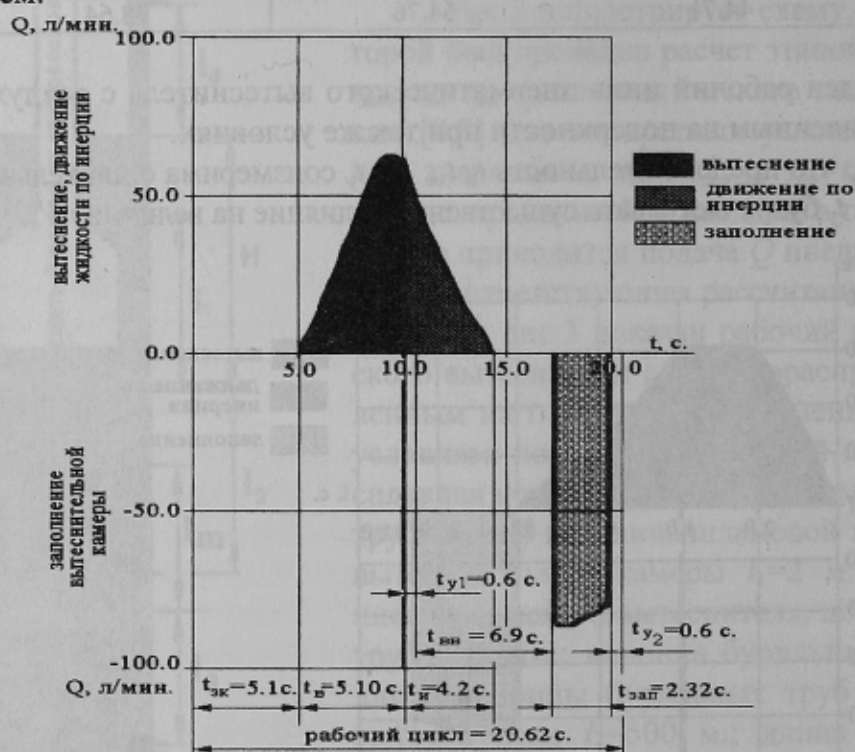


Рис.4. Рабочий цикл пневматического вытеснителя, с поверхностным воздухо-распределителем

Выводы по табл.2. Требуемое значение Q для неподвижного уровня жидкости находится в спектре 44.71–78.64 л/мин, а прогнозируемое в пределах 60 л/мин (рис.4). Следовательно, в течение рейса бурения промывочная жидкость будет обогащаться шламом, со значительно меньшей интенсивностью, чем в первом случае.

Следует отметить, что условия, при которых выполнен расчет, результаты которого приведены в табл.2, соответствуют глубокой (более 700 м.) (высота столба

жидкости = 500 м.) скважины. Это еще раз подтверждает вывод автора, ранее сделанный в [6], что опасение применения пульсирующего способа промывки при бурении скважин большой глубины с помощью погружных пневматических вытеснителей не обоснованно.

Библиографический список

1. **Филимоненко Н.Т., Ивачев Л.М., Чистяков В.К.** Расчет необходимой скорости восходящего потока промывочной жидкости при промывке скважин пульсационным пневмонасосом. Депонировано УкрНИИТИ, № 1737Ук-85. 1985.
2. **Филимоненко Н.Т.** О режимном параметре пульсирующей промывки скважин. Межвузовский научно-тематический сборник. Вып. 21. — Уральская гос. горно-геол. академия, Екатеринбург, 1998. — С. 125–132.
3. **Филимоненко Н.Т.** К вопросу расширения возможностей призабойной пульсирующей промывки скважин. Сборник научных трудов национальной горной академии Украины №2, том 2. — Днепропетровск, 1998. — С. 260–263.
4. **Филимоненко Н.Т.** К расчету минимально необходимой скорости пульсирующего восходящего потока жидкости Сборник научных трудов национальной горной академии Украины № 6, том 4. — Днепропетровск, НГАУ, 1999. С. 89–92.
5. **Филимоненко Н.Т., Поцепаев В.В.** К расчету минимально необходимой скорости пульсирующего восходящего потока жидкости Межвузовский научно-тематический сборник. Уральская гос. Горно-геол. Академия. Вып. 23. — Екатеринбург, 2000. С. 92–96.
6. **Филимоненко Н.Т.** О возможности применения пульсирующей промывки при бурении глубоких скважин. Сб. науч. трудов ДонГТУ. Серия горно-геологическая. Вып. 11. — Донецк, ДонГТУ, 2000. — С. 54–58.
7. **Сулакшин С.С.** Основы теории разрушения горных пород и удаления продуктов разрушения при бурении скважин. Томск, изд. ТГУ, 1964. — 264 с.
8. **Филимоненко Н.Т.** Результаты исследования движения неньютоновской жидкости по инерции при работе пульсационного пневматического вытеснителя Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. Вип.24. — Донецк, ДонГТУ, 2001. — С. 79–85.
9. **Филимоненко Н.Т., Комарь П.Л.** К вопросу прогнозирования интенсивности призабойной пульсирующей промывки применительно к неньютоновской жидкости // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые, 1993. — Вып 16. — С. 40–49.

© Филимоненко Н.Т., 2003

УДК 622.235.527.533

Докт.техн.наук ШЕВЦОВ Н.Р., инженеры КУПЕНКО И.В., ПУДАК В.И. (ДонНТУ)

К ВОПРОСУ ВОРОНКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛАХ

Взрывные работы в вертикальных шахтных стволах ведутся длинношпуровым методом. Диаметр шпуров равен 52...53 мм. Применяется одно- или двухступенчатый воронкообразный вруб при глубине основных шпуров 4,5 м и вспомогательных — 3 м. Глубина отбойных и оконтуривающих шпуров составляет 4,0...4,2 м. Шпуры располагаются по концентрическим окружностям.

В настоящее время при проходке вертикальных шахтных стволов с круглой формой поперечного сечения, постоянная крепь ствола не позволяет пробурить буровой установкой оконтуривающие шпуры проектной глубины непосредственной