

Глава 4



РАСШИРЕНИЕ СКВАЖИНЫ В ИНТЕРВАЛЕ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

Основные непроизводительные потери напора в системе скважина – пласт приходится на околоскважинную зону, которая часто бывает закольматированной. В оптимальном случае конструкция скважины должна предполагать удаление закольматированной породы из ствола, образование каверны заданного профиля с последующим заполнением ее высокопроницаемым гравием. Для создания каверны в околоскважинной зоне используют расширители.

4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИННЫХ РАСШИРИТЕЛЕЙ

Скважинные расширители, используемые для создания каверн в интервале продуктивного пласта, могут иметь выдвижные породоразрушающие органы, либо не иметь их. Раздвижные расширители имеют разные размеры в транспортном и рабочем положении. В транспортном положении диаметр корпуса обеспечивает беспрепятственный спуск инструмента в заданный интервал скважины с учетом диаметров обсадных труб и бурения пилот-ствола. После спуска инструмента в заданный интервал из корпуса выдвигаются породоразрушающие органы, которые после окончания расширения убираются обратно.

При работе раздвижных расширителей после окончания забурки кольцевой забой развивается вдоль продуктивного пласта от нижней к верхней границе или наоборот. Нераздвижные расширители имеют постоянные размеры в транспортном и рабочем положении, обеспечивающие беспрепятственный спуск (подъем) инструмента в скважине в заданном интервале выше продуктивного пласта. При работе нераздвижных расширителей забой развивается вдоль продуктивного интервала и в глубь пласта от стенок скважины. Раздвижные расширители различают по харак-

теру приведения из транспортного в рабочее положение на механические, гидравлические и инерционные.

Гидравлические раздвижные расширители приводятся в рабочее положение давлением, развиваемым в нагнетательной магистрали насоса и корпусе инструмента при промывке. Породоразрушающие органы закрываются, как правило, за счет возвратного усилия пружин при прекращении промывки.

Инерционные раздвижные расширители приводятся в рабочее положение центробежными силами, действующими на породоразрушающие органы при вращении инструмента. Закрытие лопастей происходит под действием их веса.

Нераздвижные расширители разделяются по характеру приведения в рабочее положение и воздействия на разрушаемый забой на эксцентриковые, гидромониторные и комбинированные. Эксцентриковые расширители имеют смещенную относительно оси скважины эксцентричную массу.

При вращении инструмента под действием центробежных сил колонна труб с расширителем описывает прецессионное движение в стволе и породоразрушающий орган, жестко закрепленный на корпусе, начинает разрушать боковую поверхность скважины, увеличивая ее диаметр.

Гидромониторные расширители основаны на гидродинамическом воздействии струи, истекающей из насадок, на породу, которая залегает в интервале продуктивного пласта. Гидромониторные расширители приводятся в рабочее состояние после спуска в заданный интервал при промывке с заданным расходом и создания расчетного перепада давления на насадках.

Нераздвижные расширители комбинированного действия сочетают механическое разрушение забоя с гидродинамическим воздействием струи промывочной жидкости на породу. Для приведения расширителя комбинированного действия в рабочее положение необходимо обеспечить циркуляцию промывочной жидкости в скважине и вращение колонны бурильных труб. Классификация скважинных расширителей представлена на рис. 4.1.

Раздвижные расширители могут быть выполнены в виде одной или нескольких ступеней породоразрушающих органов, предусматривать движение инструмента в рабочем положении вверх, вниз, либо в обоих направлениях. Расширители с выдвижными лопастями могут использоваться для поэтапного увеличения диаметра за счет различного выхода породоразрушающих органов.

Нераздвижные расширители обычно имеют одну ступень рабочих элементов. При необходимости инструмент комплектуется

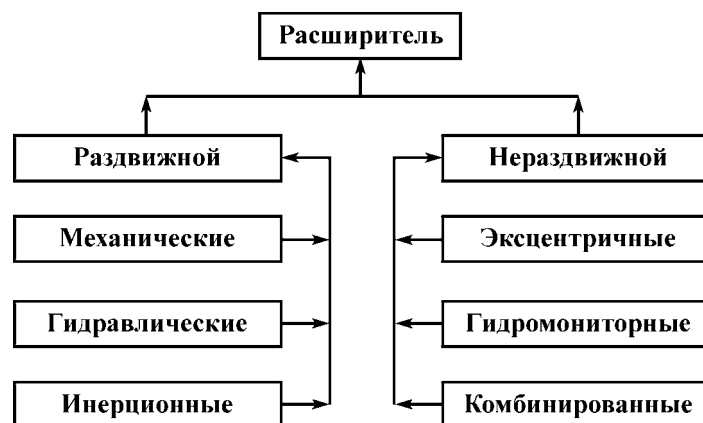


Рис. 4.1. Классификация скважинных расширителей

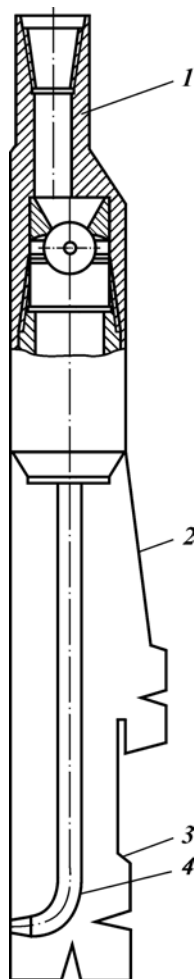
центраторами или отклонителями. Углубка инструмента в поро-
ду и развитие каверны носят постепенный характер и зависят от
времени работы расширителя.

4.1.1. ЭКСЦЕНТРИЧНЫЕ РАСШИРИТЕЛИ

Действие эксцентричных расширителей основано на создании
в породоразрушающем инструменте эксцентричной массы, сме-
щенной относительно оси скважины. При вращении колонны
бурильных труб за счет центробежных сил эксцентричная масса
смещается к стенкам скважины и начинает подрабатывать боко-
вую поверхность ствола. Колонна бурительных труб при этом опи-
сывает прецессионное движение, при котором инструмент враща-
ется вокруг оси скважины, окатывая боковой забой.

Наиболее широкое применение в практике получила конст-
рукция эксцентричного расширителя (рис. 4.2), предложенного в
Краснодарском СУ Промбурвод И.Я. Пархоменко. Расширитель
состоит из переходника с замковым соединением для стыковки с
бурительной колонной и жестко закрепленной на нем эксцентрич-
ной лопасти. Толщина лопасти составляет обычно 12–16 мм при
длине 400–800 мм. Ширина лопасти выбирается, чтобы размер
вместе с замковым переходником обеспечивал беспрепятствен-
ный спуск инструмента в скважину при ее заданном диаметре.

В нижней части лопасти имеется вытянутый вдоль оси сква-
жины забурник, предохраняющий инструмент от чрезмерно глу-
бокого проникновения в каверну и способствующий центрации
расширителя. Промывка осуществляется через специальную
трубку, выведенную с противоположной стороны от породораз-



**Рис. 4.2. Эксцентричный расширитель Краснодарского СУ
Промбурвод:**

1 – переходник для соединения с бурильными трубами;
2 – лопасть; 3 – забурник в нижней части лопасти; 4 –
трубка для промывки

рушающей лопасти и соединенной с внутренним каналом переходника и бурильных труб.

Расширитель спускают в заданный интервал скважины и начинают промывку. Инструмент плавно перемещают вдоль обрабатываемого интервала. Расширение осуществляют поэтапно. Сначала ствол калибруют при минимальной скорости вращения инструмента. Постепенно частоту вращения инструмента увеличивают. С ростом частоты вращения инструмента увеличивается интенсивность колебаний бурильной колонны, возникает биеение снаряда. Поэтому частота вращения инструмента резко превышает вторую скорость вращения ротора.

Применение эксцентричного расширителя конструкции И.Я. Пархоменко обеспечивает эффективное увеличение диаметра скважины в слабосцементированных породах. При наличии глинистых пропластков в более плотных вязких породах в интервале расширения формируется неравномерный, рваный ствол, затрудняющий доставку гравия на глубокие горизонты. В процессе расширения необходимо строго контролировать подачу инструмента, особенно при движении снаряда вниз. При резком спуске снаряда с одновременным вращением в случае кавернозности ствола появляется опасность попадания забурника на пологий склон каверны и обрыва инструмента.

Эффективная сила струи промывочной жидкости используется в представленной конструкции только в момент забурки для отклонения инструмента к стенке скважины. При расширении гидромониторная насадка удаляется от стенки скважины и размыва породы не происходит.

Масса лопасти, являющейся эксцентричной относительно оси скважины, мала в сравнении с массой колонны бурильных труб, которые за счет отклонения лопастью к противоположной стенке создают другой эксцентриситет, более существенный. Поэтому в

реальных условиях при спуске в скважину колонна бурильных труб в интервале продуктивного пласта будет смещаться лопастью к стенкам. При вращении снаряда забой каверны формируется лопастью, корпусом переходника и гидродинамической струей промывочной жидкости, истекающей из насадки промывочной трубки. Повышенный износ корпуса, который не армируется твердым сплавом, приводит к ускоренному выходу расширителя из строя, особенно при работе в абразивных породах.

Для создания каверн в геотехнологических скважинах используется эксцентриковый расширитель, состоящий из породоразрушающей лопасти и полого корпуса, который выполнен в виде концентрично соединенных патрубков различного диаметра [20]. Расширитель снабжен тремя гидромониторными насадками (рис. 4.3). Одна из насадок направлена в сторону, противоположную породоразрушающей лопасти. При спуске инструмента в скважину и включении промывки предполагается, что гидродинамическая сила струи, вытекающей из этой насадки, будет способствовать интенсификации забурки снаряда. На самом деле, расход промывочной жидкости практически одинаков через каждую насадку и при включении промывки расширитель будет отклоняться в сторону, противоположную стороне контакта лопасти с породой. Это происходит из-за того, что гидродинамическая сила истечения потока из двух насадок, направленных в сторону породоразрушающей лопасти, в 2 раза больше силы, которая способствует забурке лопасти. При вращении снаряда за счет смещения бурильной колонны лопастью относительно оси скважины и возникновения центробежных сил он начинает сильнее прижиматься к стенкам скважины не лопастью, а противоположной стороной снаряда, т.е. корпусом переходника. В этой связи армированная твердым сплавом лопасть не контактирует с породой, а забой подрабатывается корпусом расширителя. Эффективность работ при этом резко снижается. Кроме этого, плоская поверхность нижнего торца расширителя исключает возможность очистки отстойника от обрушившейся породы, посадки фильтровой колонны в заданный интервал без дополнительного калибрования ствола долотом.

И.А. Сергиенко приводит данные по испытанию эксцентричного расширителя на объектах ПВ, представленные в табл. 4.1, которые следует оценивать лишь как ориентировочные, так как кавернометрия как правило, не обеспечивает замера диаметра ствола более 400 мм, а профилометрия, применяемая крайне редко, более 800 мм.

При выборе параметров эксцентричных расширителей следует избегать отклонения колонны бурильных труб от оси скважины

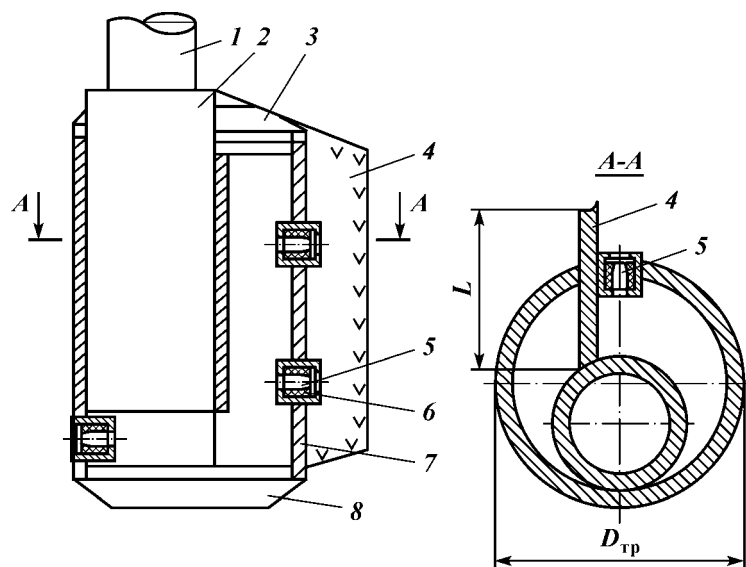


Рис. 4.3. Эксцентриковый расширитель для геотехнологических скважин:
1 – переходник; 2 – полый цилиндр; 3 – центратор; 4 – лопасть породоразрушающая; 5 – насадка; 6 – уплотнение; 7 – полый корпус; 8 – направляющий башмак

и создания эксцентричной массы, способствующей не забурке лопасти при вращении, а наоборот, ее отклонению от забоя. Автором предложено использовать эксцентричный расширитель, ширина которого вместе с лопастью и переходником меньше половины диаметра скважины в интервале расширения. В этом случае колонна бурильных труб располагается близко к оси симметрии скважины, а эксцентриситет создает лопасть, выполненная из толстостенного металлического листа, армированного твердым сплавом. Гидромониторная насадка в конструкции выводится в сторону, противоположную породоразрушающей лопасти или вниз на забой.

Таблица 4.1

Диаметр пилот-ствола, мм	Наружный диаметр корпуса, мм	Длина режущей лопасти, мм	Диаметр расширения, мм
190	146	75	360
214	168	99	435
243	194	128	520
289	219	154	600
295	219	180	675
346	273	232	830
394	299	280	1015

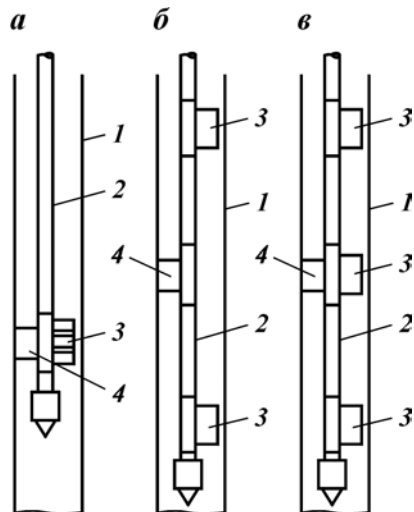
При промывке колонна бурильных труб за счет гидродинамических сил смещается в центральные сечения скважины, а лопасть прижимается к стенкам скважины. Лопасть забуривается при передаче вращения на инструмент.

При использовании старого снаряда бурильных труб, когда расширитель спускают, колонна может не занять центрального положения, а сместиться к стенкам скважины. Силы гидродинамического давления при ограниченной мощности насосного оборудования недостаточны для забурки инструмента. В этих условиях рекомендуется использовать конструкцию эксцентричного расширителя с одним или двумя отклонителями. Необходимым условием работы инструмента считается различие масс отклонителей и породоразрушающей лопасти. Масса породоразрушающей лопасти должна существенно превышать массу отклонителей (рис. 4.4). Наличие отклонителей гарантирует фиксированную установку бурильных труб в скважине, создание требуемого эксцентриситета, надежную забурку и эффективную работу инструмента. Отклонители могут быть различной формы.

При необходимости промывки ствола в интервале отстойника вращение прекращают и снаряд при работе насоса доводят до заданной отметки, соответствующей глубине установки башмака фильтровой колонны. Размыв песчаной пробки осуществляется через нижнюю гидромониторную насадку.

При обеспечении центрации бурильной колонны, вывода расширителя в рабочее положение и прецессионного движения ин-

Рис. 4.4. Эксцентричный расширитель с разными отклонителями:
1 – скважина; 2 – бурильные трубы; 3 – отклонитель; 4 – породоразрушающая лопасть



струмента из-за закручивания труб в обычных конструкциях расширителей, глубина внедрения лопасти в породу на каждом цикле расширения резко уменьшается. При определенных условиях инструмент может скользить по забою без видимого внедрения лопасти в породу. При этом эффективность увеличения диаметра скважины снижается. Динамика закручивания эксцентричного расширителя в скважине при снижении величины внедрения лопасти в породу с учетом баланса действующих сил, показана на рис. 4.5. Механизм закручивания расширителя в

Рис. 4.5. Динамика закручивания эксцентричного расширителя:
а – закручивание снаряда; *б* – прижатие корпуса; *в* – забурка лопасти; *г* – расширение

скважине подтвержден работами М.Е. Грабовского, проводившего эксперименты на скважинах путем сопоставления характера износа поверхности корпуса расширителя.

С целью интенсификации внедрения породоразрушающей лопасти предложено выводить гидромониторную насадку перпендикулярно поверхности лопасти со стороны, противоположной поверхности контакта с породой. Под действием реактивной силы струи промывочной жидкости лопасть режущей поверхностью прижимается к забою и внедряется в породу.

Рассмотрим механизм работы эксцентричного расширителя. Дифференциальное уравнение поворота лопасти при забурке расширителя относительно его центра масс имеет вид

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \sum M, \quad (4.1)$$

где J – момент инерции расширителя относительно точки O' ; $d^2\alpha/dt^2$ – ускорение вращения; $\sum M$ – сумма моментов сил, действующих на лопасть относительно точки O' .

С началом вращения бурильной колонны на расширитель действует крутящий момент T ; сила струи промывочной жидкости, $F_{\text{стр}}$; $R_{\text{т}}$, $R_{\text{н}}$ – тангенциальная и нормальная составляющие реакции забоя; $F_{\text{т}}$, $F_{\text{н}}$ – тангенциальная и нормальная составляющие силы инерции.

Для равномерного установившегося разрушения породы ускорение вращения расширителя $d^2\alpha/dt^2 = 0$. С учетом этого условия сумма моментов, действующих на лопасть сил, равна нулю. Относительно крутящего момента T с учетом $d^2\alpha/dt^2 = 0$ выражение (4.1) запишем

$$T = F_{\text{тр}} \frac{d}{2} + R_{\text{т}} \left[\left(\frac{d}{2} + h_{\text{л}} \right) \cos \left(\arctg \frac{\frac{D-d}{2} \sin \alpha}{h_{\text{л}} + \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2} \cos \alpha} \right) + \frac{D-d}{2} \cos \alpha \right] + \\ + R_{\text{н}} \left[\left(\frac{d}{2} + h_{\text{л}} \right) \sin \left(\arctg \frac{\frac{D-d}{2} \sin \alpha}{h_{\text{л}} + \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2} \cos \alpha} \right) \right], \quad (4.2)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения корпуса расширителя о породу, d – диаметр корпуса расширителя, D – диаметр пилот-скважины, $h_{\text{л}}$ – ширина лопасти, α – угол закручивания расширителя.

Крутящий момент можно определить из следующей зависимости:

$$T = \frac{J_{\text{р}} G \alpha}{57,3L}; \quad (4.3)$$

$$J_p = \frac{\pi}{32}(d^4 - d_{\text{вн}}^4),$$

где J_p – полярный момент инерции, $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр труб, G – модуль упругости второго рода для стали, равный $8 \cdot 10^{10}$ Па, L – глубина скважины.

Сила трения может быть выражена через реакцию забоя R и коэффициент трения f

$$F_{\text{тр}} = Rf. \quad (4.4)$$

Коэффициент трения лопасти с песком обычно составляет 0,1.

Основная энергия затрачивается на преодоление сопротивления внедрению резцов и на преодоление сил трения их о забой.

Тангенциальная составляющая силы сопротивления

$$R_r = 2af[P]S, \quad (4.5)$$

где a – коэффициент, учитывающий зависимость механической скорости расширения от вдавливающего усилия долота в породу ($a = 0,03 \div 1$); $[P]$ – предел прочности пород, S – площадь контакта лопасти с породой.

Остаточный угол закручивания инструмента α определяется из формулы (4.2) и при $a = 0,03$ близок к нулю, что свидетельствует о завершении забурки лопасти.

При работе расширитель передает на забой осевую нагрузку

$$P_{\text{ос}} = a[P_{\text{пр}}]S. \quad (4.6)$$

Площадь контакта лопасти с породой

$$S = \Delta \left[h_{\text{л}} - \sqrt{\frac{D^4}{4} - \frac{(D-d)^2 \sin^2 \alpha}{4}} + \frac{D-d}{2} \cos \alpha + \frac{d}{2} \right], \quad (4.7)$$

где Δ – ширина пластин твердого сплава.

Сила сопротивления породы внедрению лопасти, приложенная к режущей грани при осевом перемещении расширителя

$$[R_h] = 2f_{\text{тр}}P_{\text{ос}}. \quad (4.8)$$

Дифференциальное уравнение (4.1) с учетом действия сил сопротивления породы внедрению лопасти $[R_h]$ и силы струи жидкости $F_{\text{тр}}$ имеет сложный вид. Целесообразно решать уравнение (4.2) для конкретных условий проведения работ. В качестве примера приведем результаты расчетов для скважины глубиной $L = 100$ м, ширине пластин твердого сплава $\Delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $a = 1,0$, площади контакта $S = 10^{-3}$ м², коэффициенте трения $f = 0,1$; $[P_{\text{пр}}] = 10^5 \div 10^6$ Па, силе прижатия $R = 400$ Н, полярном моменте

инерции $J_p = 4,2 \cdot 10^{-6}$ м, диаметре труб $d = 0,089$ м, ширине лопасти $h_{л} = 0,05$ м, диаметре пилот-ствола $D = 0,3$ м.

Если $\alpha = 0$, что характерно для устойчивого режима разрушения породы, то можно найти угол закручивания инструмента от силы гидродинамического воздействия струи.

Для обеспечения удовлетворительной забурки инструмента в породе угол закручивания лопасти должен быть минимальным. Как следует из приведенных данных, требуемая сила гидродинамического давления струи в приемлемых условиях изменяется в незначительных пределах, что упрощает определение требуемого расхода промывочной жидкости через сопло.

Расход жидкости через сопло для создания необходимой силы давления струи

$$Q = 1000 \sqrt{\frac{F_{стр} \pi d_0^2}{4\rho}}, \quad (4.9)$$

где d_0 – диаметр сопла.

Расход жидкости при $d_0 = 0,01$ м и $\rho_v = 1000$ кг/м³ приведен ниже:

Q , л/с	4,78	4,71	4,66	4,5	4,16	3,76
α , градус.....	1	2	3	5	10	15
$F_{стр}$, Н	291,3	283,1	275,1	258,6	220,7	179,9

При нескольких насадках, используемых в расширителе, расход промывочной жидкости должен увеличиваться пропорционально числу насадок.

Автором разработан эксцентричный расширитель (рис. 4.6), обеспечивающий эффективное прижатие лопасти к породе за счет вывода струи потока промывочной жидкости на лопасть со стороны, противоположной поверхности контакта с забоем. Расширитель состоит из полого вала 1 и установленного на нем посредством шлицевого соединения корпуса 2, к которому жестко прикреплен породоразрушающая лопасть 3. Режущие поверхности лопасти A , B и C армированы твердым сплавом. Верхний торец вала 1 через муфту 4 соединен с бурильной колонной, а нижний – с долотом 5. Пружины 6 и 7 подпирают корпус 2 с нижнего и верхнего торцов. В корпусе 2 выполнены три промывочных канала, смещенные по вертикали. Средний канал сообщается с гидромониторной насадкой 8, выведенной на породоразрушающую лопасть 3. Два крайних канала, выполненные в корпусе 2, имеют гидравлическую связь с насадками 9 и 10, выведенными со стороны противоположной направлению лопасти. Каналы 11 и 12, выполненные в валу 1, при продольном перемещении корпуса 2 относительно вала 1 распределяют поток про-

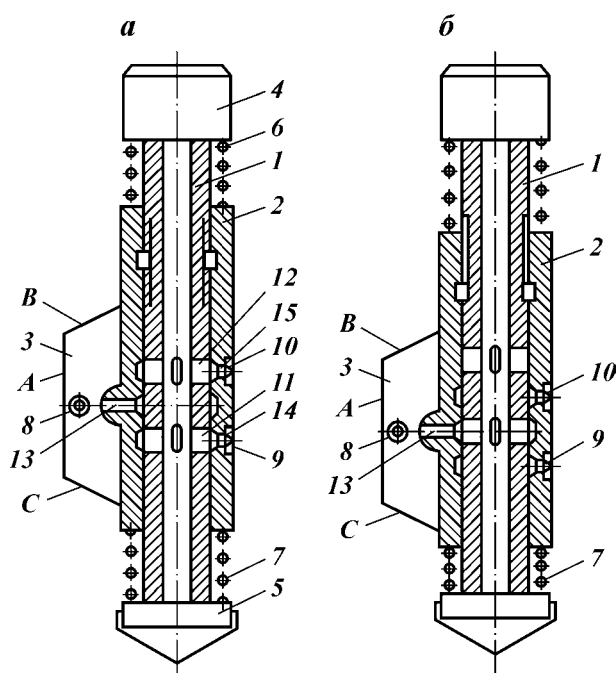


Рис. 4.6. Эксцентричный расширитель с авторегулируемым режущим воздействием лопасти

мывочной жидкости между гидромониторными насадками 8, 9 и 10, размещенными на выходах из каналов в корпусе 2, 13, 14 и 15 соответственно.

Эксцентричный расширитель в транспортном положении спускают в скважину и устанавливают в интервале продуктивного пласта. Начинают промывку, в процессе которой промывочная жидкость по бурильным трубам поступает в полость вала 1 и из гидромониторных насадок 9 и 10 нагнетается в кольцевое пространство скважины. Возникающая при этом реактивная сила струи отклоняет расширитель, прижимая рабочую грань А породоразрушающей лопасти 3 к забою.

При вращении инструмента за счет центробежных и гидродинамических сил расширитель забуривается в заданном интервале, формируя уступ для режущих граней лопасти B и C. При приложении к расширителю осевой нагрузки пружины 6 или 7 сжимаются и корпус 2 с породоразрушающей лопастью 3 смещается относительно штока 1. При этом поток промывочной жидкости,

нагнетаемый в скважину, перераспределяется между насадками. Если в момент забурки важно было вывести инструмент в рабочее положение и прижать лопасть к забою реактивной силой струи, истекающей из насадок 9 и 10, то при передаче вращения и расширении целесообразно предотвратить излишнее закручивание снаряда выводом струи на боковую поверхность лопасти в насадку 8. В случае сжатия пружины поток из насадок 9 и 10 перераспределяется в насадку 5, что способствует устойчивому режиму разрушения породы.

В промежуточном положении корпуса относительно штока могут работать все три насадки. Если пружины не сжаты, то работают насадки, способствующие отклонению колонны от оси и забурке инструмента. Когда одна из пружин (в зависимости от направления перемещения инструмента вдоль продуктивного интервала) сжата полностью, то работает только насадка, способствующая увеличению углубки за счет снижения угла закручивания инструмента.

При установленной скорости осевой подачи расширителя изменение давления на насосе свидетельствует об изменении физико-механических свойств разрушаемых пород. С переходом в более твердые породы вертикальная сила на породоразрушающую лопасть увеличивается, возрастает расход промывочной жидкости через насадку в лопасти, что способствует росту силы прижатия расширителя к забою и сохранению диаметра расширения. Переход в более мягкие породы увеличивает поток промывочной жидкости, истекающей из насадок в корпусе, снижает расход через насадку в лопасти и поддерживает постоянный диаметр каверны.

Наличие пружин в конструкции расширителя, выполняющих функцию амортизаторов, способствует снижению вибрации и колебаний инструмента. Поэтому представленная конструкция расширителя может использоваться при повышенных частотах вращения инструмента для создания каверн большого диаметра.

При большой глубине скважины или при использовании бурильной колонны малого диаметра инструмент на забое закручивается и для его распрямления силы гидродинамического давления струи бывает недостаточно. Для таких условий Русбурмаш рекомендует комплектовать корпус расширителя двумя лопастями (рис. 4.7), одна из которых выполняет функцию эксцентриситета, а другая – разрушения породы.

Для неоднородных разрезов полного контакта лопасти расширителя с породой обеспечить сложно. С целью повышения производительности расширения предложен расширитель, корпус которого снабжен шарошечными породоразрушающими органами

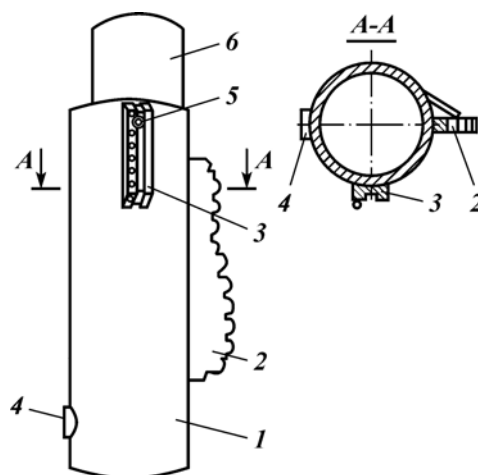


Рис. 4.7. Эксцентричный расширитель с двумя лопастями:

1 – корпус; 2 – породоразрушающая лопасть; 3 – вспомогательная лопасть; 4 – промывочный канал; 5 – гидромониторная насадка; 6 – переходник

(рис. 4.8). При вращении шарошечные породоразрушающие органы 8, 11, установленные на корпусе 9, перекатываются по забою, равномерно увеличивая диаметр скважины. Корпус расши-

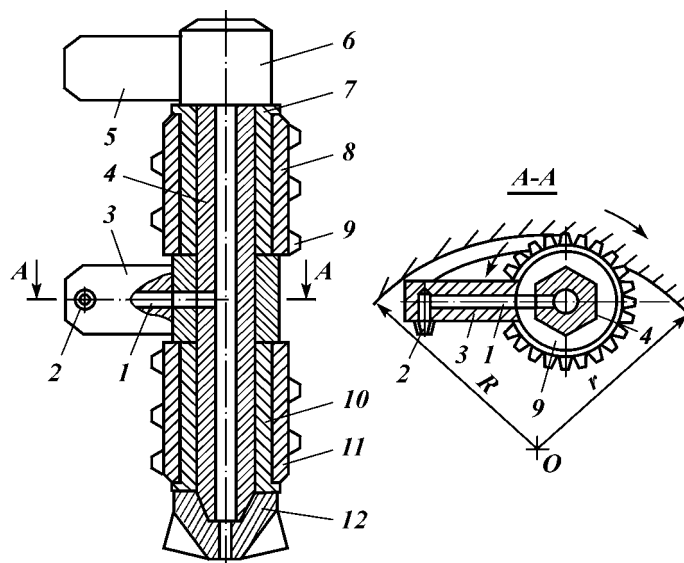
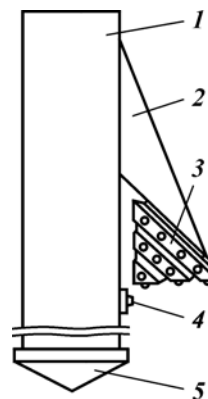


Рис. 4.8. Шарошечный эксцентричный расширитель:

1 – канал в лопасти; 2 – насадка гидромониторная; 3, 5 – стабилизирующие лопасти; 4 – шестигранный полый шток; 6 – переходник; 7, 10 – втулки; 8, 11 – шарошечные породоразрушающие органы; 9 – корпус; 12 – долото

Рис. 4.9. Шарошечный эксцентричный расширитель:
 1 – корпус; 2 – опора; 3 – шарошка; 4 – насадка; 5 –
 долото



рителя снабжен двумя стабилизирующими лопастями 3 и 5. Одна стабилизирующая лопасть предназначена для вывода струи промывочной жидкости и создания дополнительного реактивного усилия на забой.

С увеличением длины лопасти увеличивается момент реактивных сил струи, истекающей из насадки 2. Верхняя стабилизирующая лопасть 5 предназначена для центрации инструмента в скважине, исключения попадания инструмента в каверны, возникновения биения и вибрации снаряда. Породоразрушающие органы установлены на шестигранном полом штоке 4 с целью возможности передачи на них вращения от бурильной колонны. В нижней части расширителя монтируется долото 12, а в верхней части находится переходник 6 для соединения с бурильными трубами.

Для расширения скважин в относительно крепких породах, при наличии твердых пропластков, разработан шарошечный эксцентричный расширитель РШ (рис. 4.9). В качестве породоразрушающего органа в расширителе используется шарошка. Одновременно шарошка и опора, закрепляющая ее на корпусе, выполняют функцию эксцентрика. Инструмент РШ приспособлен для расширения как снизу вверх, так и сверху вниз, в зависимости от используемой технологии.

Д.А. Петровым в ЗАО «Русбурмаш» разработана конструкция эксцентричного расширителя для скважин на воду и подземного выщелачивания.

На рис. 4.10 приведена схема эксцентричного скважинного расширителя с рабочим органом и стабилизатором устойчивости.

Гидромеханический расширитель представляет систему рабочих скоб, армированных восьмигранниками твердого сплава ВК-8.

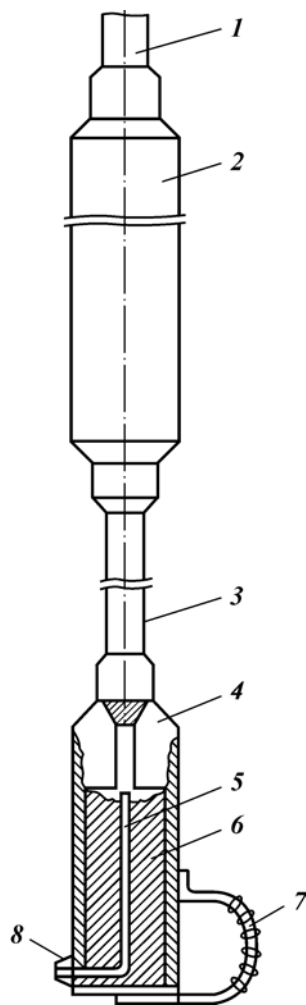


Рис. 4.10. Эксцентричный скважинный расширитель с измененным рабочим органом и стабилизатором устойчивости конструкции «Интер-Аква 2000»:

1 – штанга СБТ-5-0, ЛБТ-50; 2 – стабилизатор устойчивости УБТ; 3 – СБТ-73; 4 – переход; 5 – трубка; 6 – свинец; 7 – армированный рабочий орган; 8 – гидромониторная насадка

Такая система крепления скоб различного размера должна обеспечить более приемлемую конфигурацию зоны расширения для укладки гравия.

Конструкция расширителя достаточно проста; расширитель может быть изготовлен в мастерских комбината, без использования каких-либо дорогостоящих материалов и устройств.

Эффективная работа эксцентричного расширителя обеспечивается в специальной компоновке со стабилизатором, выполняющим функцию центрации инструмента в скважине. Расстояние от центратора до рабочего органа рассчитывают по специальной методике, исходя из конструкции скважины, требуемого диаметра и интервала расширения с учетом возможных режимов вращения инструмента и промывки. Типовая компоновка представлена на рис. 4.11.

Д.А. Петросовым и сотрудниками ЗАО «Русбурмаш» разработан расширитель комбинированного действия, приводящийся в действие давлением промывочной жидкости и прижимающийся рабочими органами к стенкам

скважины за счет эксцентриситета инструмента и обусловленных этим действием инерционных сил. Наличие одной выдвижной массивной лопасти обеспечивает высокую надежность конструкции и простоту использования (рис. 4.12, 4.13).

В предварительно пробуренную скважину опускают расширитель до кровли продуктивного пласта. При спуске в скважину, рабочая лопасть 9 находится в закрытом (транспортном) положении.

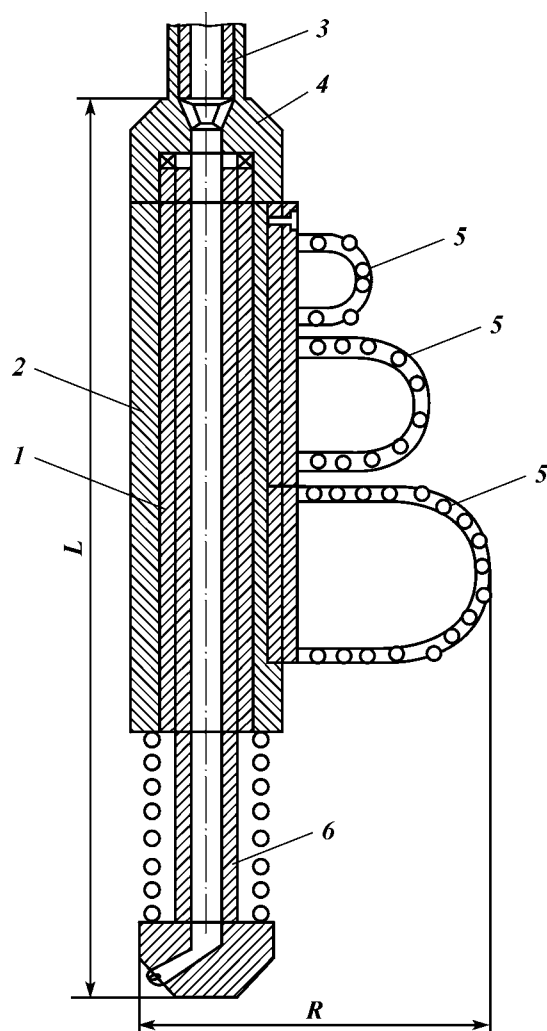


Рис. 4.11. Эксцентричный скважинный расширитель:
 1 – трубка; 2 – УБТ диаметром 108 мм, $L = 6 \div 8$ м; 3 – СБТ-73, $L = 4,5 \div 4,7$ м;
 4 – переход; 5 – армированный рабочий орган; 6 – штанга СБТ-50; R – габарит
 расширителя

Промывочная жидкость по бурильным трубам поступает в корпус расширителя 1 и воздействует на поршень 7. Поршень 7 идет вниз, сжимая возвратную пружину 3, и посредством толкателя поршня 13, воздействуя на эксцентрик рабочей лопасти 10,

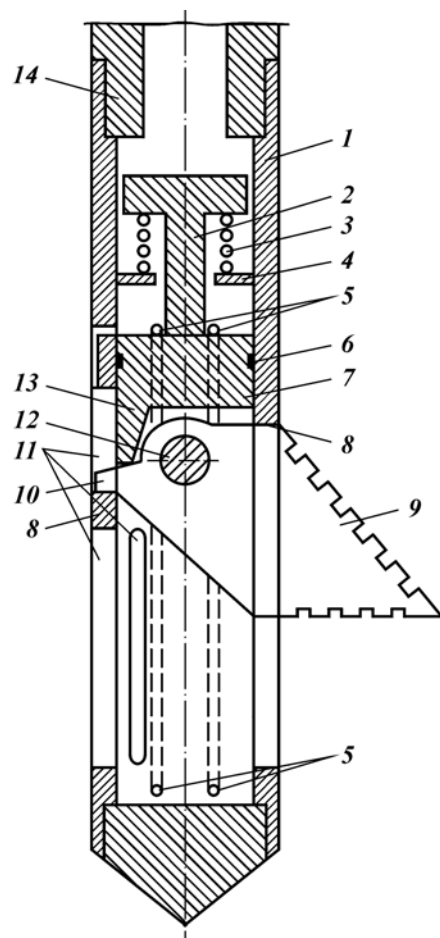


Рис. 4.12. Расширитель гидравлический раздвижной одноступенчатый:

1 – корпус расширителя; 2 – шток поршня; 3 – возвратная пружина; 4 – упор возвратной пружины; 5 – промывочные каналы; 6 – уплотнительный сальник поршня; 7 – поршень; 8 – упор рабочей лопасти; 9 – рабочая лопасть расширителя; 10 – эксцентрик рабочей лопасти; 11 – технологические окна; 12 – вал рабочей лопасти; 13 – толкатель поршня; 14 – УБТ

выдвигает ее в рабочее положение. При приведении лопасти расширителя в рабочее положение открываются промывочные каналы 5. Резко падает давление в нагнетательной магистрали. Инструменту передается вращение и осевая нагрузка.

Осуществляют подачу расширителя вдоль интервала расширения, увеличивая тем самым диаметр пилот-скважины до расчетного диаметра. При достижении расширителем границы интервала расширения промывку выключают. Под действием возвратной пружины 3 и силы тяжести поршень 7 с толкателем поршня 13 приводятся в исходное положение. Рабочая лопасть

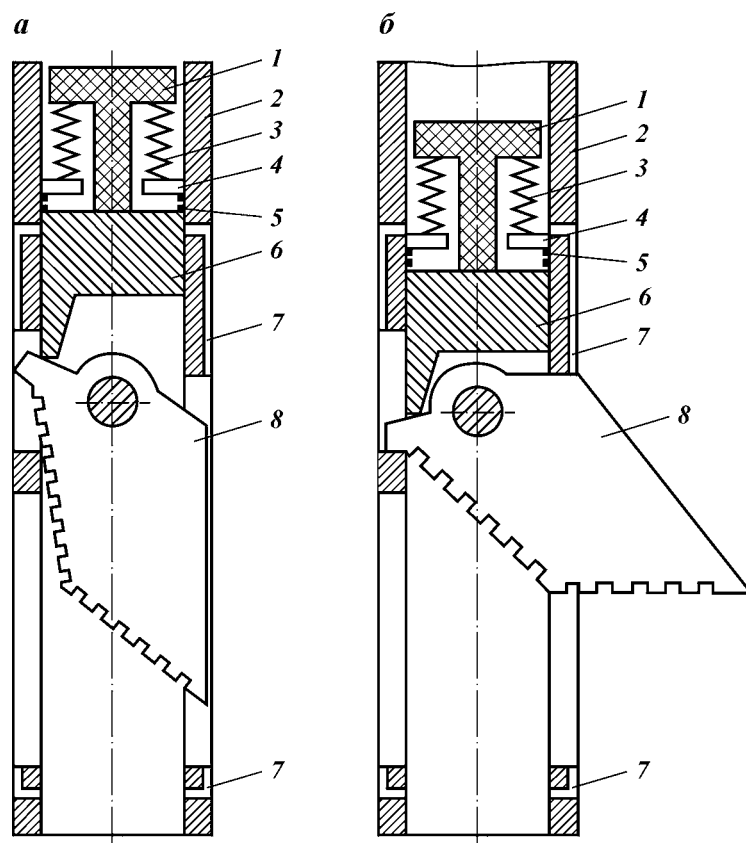


Рис. 4.13. Схема новой конструкции расширителя скважины ПВ:
а – рабочее положение; *б* – транспортное положение; 1 – шток поршня; 2 – корпус расширителя; 3 – пружина; 4 – упор; 5 – резиновые уплотнения; 6 – поршень; 7 – промывочные каналы; 8 – рабочий орган расширителя

расширителя 9 приводится в транспортное положение, упираясь в нерасширенный интервал или башмак технической колонны при подъеме инструмента.

4.1.2. ГИДРОМОНИТОРНЫЕ РАСШИРИТЕЛИ

В гидромониторных расширителях для разрушения породы используется энергия струи промывочной жидкости, истекающей из насадок. После спуска расширителя в скважину в заданный интервал начинают осуществлять подачу промывочной жидкости либо одновременно с вращением, либо без вращения инструмен-

та. Поток жидкости, истекающий из насадок гидромониторного расширителя, попадает на забой и разрушает породу.

Разрушение породы под воздействием гидромониторной струи происходит из-за создания на забое осевого давления, приводящего к разрушению структурных связей, их размыву. Разрушение структурных связей породы происходит в том случае, если создаваемое струей давление на забой превышает критическое для данного типа грунта

$$\sigma \geq [\sigma_{\text{доп}}], \quad (4.10)$$

где σ – напряжение, создаваемое струей в породе, $[\sigma_{\text{доп}}]$ – предельно допустимое напряжение в породе.

Многочисленными исследователями [15, 16] установлено, что разрушение породы при воздействии на нее струи промывочной жидкости происходит при существенно меньшем давлении, чем предельно допустимые напряжения на сжатие. Это объясняется долговременным воздействием потока на грунт, в процессе которого структурные связи породы постепенно разрушаются и действительная прочность породы уменьшается.

Применительно к слабосцементированным и глинистым породам рекомендуется вводить в формулу (4.10) понижающий коэффициент K (табл. 4.2)

$$\sigma \geq K[\sigma_{\text{доп}}]. \quad (4.11)$$

Воздействие струи на забой, исходя из режима истечения и его колебаний во времени, носит различный характер. В случае прерывистого воздействия давление на забой рассчитывают по формуле гидравлического удара

Таблица 4.2

Типы пород	Предельно допустимые напряжения $[\sigma_{\text{доп}}]$, кг/см ²	Понижающий коэффициент K	Требуемое для разрушения породы давление на забой σ , кг/см ²
Песок мелкозернистый	1–2	0,8	0,8–1,6
Супесь легкая	1,5–2	0,8	1,2–1,6
Песок среднезернистый	1,2	0,7	1,05
Лессовидный суглинок	1,5–2,5	0,7	1,05–1,75
Суглинок легкий, супесь средняя	2–2,5	0,7	1,4–1,75
Песок крупнозернистый	1,5–2,5	0,7	1,05–1,75
Супесь тяжелая, суглинок средний	2,5–3	0,6	1,5–1,8
Суглинок плотный	3–4	0,6	1,8–2,4
Глина	3–4,5	0,6	1,8–2,7
Гравийно-галечные отложения	4–5	0,6	2,4–3,0
Глина полужирная	5–7	0,5	2,5–3,5

$$\sigma = \rho cv, \quad (4.12)$$

где c – скорость волны сжатия в жидкости (при высоких скоростях удара волны сжатия распространяются со скоростью, превышающей 1500 м/с); v – скорость истечения жидкости из насадки.

Для круглых струй диаметр поверхности, на которую распространяется давление гидроудара

$$d = d_0(v/c), \quad (4.13)$$

где d_0 – начальный диаметр струи.

Продолжительность ударного воздействия невелика, и через небольшой промежуток времени с момента возникновения циркуляции происходит радиальное движение жидкости вдоль забоя от ядра воздействия или оси симметрии струи. Давление на забой резко снижается и при этом

$$\sigma = \rho(v^2/2). \quad (4.14)$$

Давление, развиваемое струей, которая истекает из насадки, изменяется по мере приближения или удаления забоя, или смещения его от оси симметрии струи. Г.Н. Абрамович и А.Я. Милович рекомендуют для определения снижения давления на забой по мере его удаления от насадки использовать формулу

$$\sigma_l = \frac{ad_0}{l} \sigma_0, \quad (4.15)$$

где a – опытный коэффициент ($a = 6 \div 6,8$); l – расстояние от насадки до забоя; σ_0 – давление струи на выходе из насадки.

Выражение (4.15) дает хорошую сходимость при существенном удалении забоя от насадки. При малых удалениях, когда $d_0/l > 0,12 \div 0,14$, формула теряет смысл, так как давление на расстоянии l больше, чем начальное.

А.К. Козодой предложил формулу для определения осевого давления струи на забой по мере его удаления с учетом коэффициента затухания $a = 0,29 \div 0,3$, дающую удовлетворительную сходимость и на начальном участке струи при $l > (2 \div 3)d_0$,

$$\sigma_l = \frac{5,5}{\left(1 + a \frac{l}{d_0}\right)^2}. \quad (4.16)$$

В начальный период развития струи до 5–6 мм от насадки она носит компактный характер, и давление жидкости поддерживается примерно постоянным (рис. 4.14). С удалением насадки от

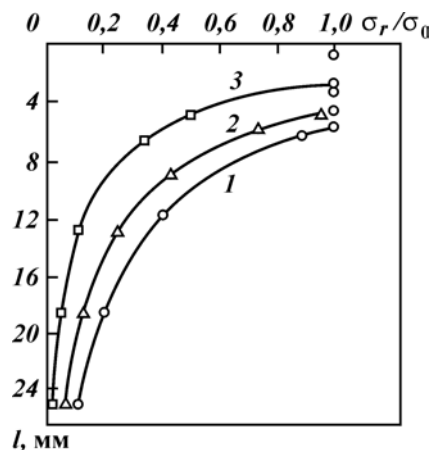


Рис. 4.14. Зависимость отношения σ_r/σ_0 от расстояния до забоя при разных выходных сечениях насадок:

1 – эллиптическое; 2 – коническое; 3 – цилиндрическое

забоя давление резко снижается, а при расстоянии более 18–20 мм разрушение породы становится неэффективным.

В радиальном направлении от оси симметрии струи давление быстро снижается. Н. Маковей рекомендует использовать для определения давления от оси струи уравнение С.Д. Лича и Г.Л. Уолкера

$$\sigma_r = \sigma_0 \left[1 - 3 \left(\frac{r}{b} \right)^2 + 2 \left(\frac{r}{b} \right)^3 \right], \quad (4.17)$$

где r – расстояние от оси симметрии струи; b – радиус поверхности, на которую воздействует струя ($b \approx 1,3d_0$).

Уравнение (4.17) справедливо при $r < b$, а при $r \gg b$ $\sigma_r = 0$. Анализ уравнения (4.17) позволяет установить, что максимальное давление наблюдается у оси струи примерно постоянно и близко к максимальному. На расстоянии 2,5 диаметра от центра струи давление резко снижается и составляет не более 10 % максимального. При дальнейшем удалении от центра струи давление снижается медленнее и на расстоянии 8–10 диаметров составляет 3–5 % от максимального (рис. 4.15).

Неравномерность распределения давления, создаваемого струей жидкости, вытекающей из гидромониторной насадки, обуславливает формирование неравномерного по форме поверхности разрушаемого забоя. Максимальные сжимающие и касательные напряжения возникают в том месте, где забой контактирует с центральной частью струи. Поэтому разрушение забоя происходит преимущественно у оси симметрии струи, а с удалением по радиусу, интенсивность разрушения породы резко снижается.

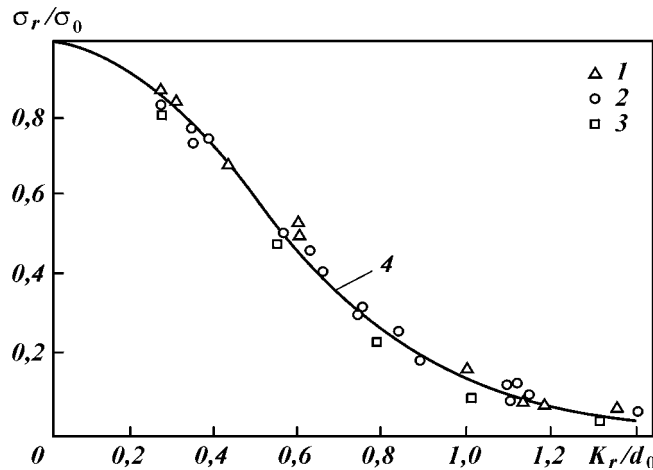


Рис. 4.15. Изменение давления струи по мере смещения от оси симметрии:
 1 – $d_0 = 3,2$ мм; $v = 27,4 \div 35,7$ м/с; 2 – $d_0 = 4,8$ мм; $v = 29,6$ м/с; 3 – $d_0 = 6,4$ мм;
 $v = 20,7$ м/с; 4 – теоретическая кривая

Для практических условий важно определить параметры насадок, режимы промывки и допустимое удаление насадки от забоя (стенок скважины), при которых возможно интенсивное разрушение породы.

Давление в точке забоя, отстоящей от насадки на расстоянии l , а от оси струи – на расстоянии r , определяется выражением

$$\sigma = K_r K_l \sigma_0, \quad (4.18)$$

где K_r – коэффициент затухания струи по мере удаления от ее оси, равный отношению σ_r к σ_0 [см. уравнение (4.17)]; K_l – коэффициент затухания струи при удалении от насадки, равный отношению σ_r к σ_0 [см. равенство (4.15) и (4.16)].

Решая уравнение (4.18) относительно необходимой скорости истечения струи из насадки расширителя при известных значениях расстояния до забоя l и диаметра размываемой полости r_i , получаем следующее выражение:

$$v = \sqrt{\frac{2[\sigma_{\text{доп}}]}{\rho K_l K_r}}. \quad (4.19)$$

При скоростях меньших, чем рассчитанных по приведенной формуле, разрушения забоя радиусом r_i , который отстоит от насадки на расстоянии l , не произойдет. От выражения (4.19) легко

перейти к уравнению для определения суммарной площади сечения насадок расширителя при заданной производительности насосного оборудования Q

$$\omega_n = \frac{Q}{\sqrt{\frac{2[\sigma_{\text{доп}}]}{\rho K_l K_r}}}. \quad (4.20)$$

Рациональный диаметр насадок d_0 определяется на основании равенства (4.20) и числа насадок n_i , которое выбирается, исходя из конструктивных особенностей расширителя,

$$d_0 = \sqrt{\frac{\omega_n}{\pi n_i}}. \quad (4.21)$$

При заданном начальном давлении струи σ_0 и известном радиусе обработки забоя r , соответствующем коэффициенту затухания, предельное расстояние $l_{\text{кр}}$, на котором будет разрабатываться забой, сложенный породой с заданными физико-механическими и прочностными свойствами

$$l_{\text{кр}} = \frac{a d_0}{\sqrt{\frac{[\sigma_{\text{доп}}]}{K_r \sigma_0}}}. \quad (4.22)$$

Если расстояние $l_{\text{кр}}$ больше значения, полученного в правой части уравнения (4.22), то на стенках скважины сформируется забой радиусом r меньше расчетного r_i . Существует предельное расстояние между забоем и насадкой, при котором забой не формируется даже в месте, контактирующем с осью симметрии струи. Это значение легко получить из выражения (4.22), если $K_r = 1$.

Значения разрушающей дальности струи в зависимости от числа гидромониторных насадок и динамического давления на породу приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Порода	Давление, МПа	l (в мм) при числе насадок		
		1	2	3
Супесь	0,3	302	430	530
Песок крупнозернистый	0,2	320	450	550
Суглинок	0,4	200	280	350
Песок мелкозернистый	0,15	300	420	320
Глина плотная	0,6	145	205	250

В выражении (4.22) использовали значения коэффициента затухания струи с удалением от насадки, полученного из уравнения (4.15), дающего хорошую сходимость при существенных удалениях забоя, что и соответствует поставленной задаче.

Уравнения (4.19)–(4.22) получены при условии, что действие струи на забой носит постоянный характер, исключающий возникновение гидравлических ударов. Если в конструкции расширителя предусмотрено периодическое открытие – закрытие поверхности насадок и гидроударное воздействие струи на забой, то предельно возможная глубина расширения, определяемая по уравнению (4.22), увеличится на $2 c/v$, т. е. примерно в 5–6 раз.

Требуемая скорость истечения струи из насадки для формирования забоя радиусом r при динамическом режиме истечения уменьшается и определяется из выражения

$$v > \frac{[\sigma_{\text{доп}}]}{\rho c K_l K_r}. \quad (4.23)$$

Характер представленных зависимостей подтверждается многочисленными экспериментальными данными. Интересные исследования проведены в ИГД им. А.А. Скочинского. При исследовании взаимодействия струй с породой выявлена связь глубины разрушаемого забоя от отношения расстояния между забоем и насадкой к диаметру насадки.

Эффективное отношение расстояния между насадкой и забоем к диаметру насадки не должно превышать 5–6. Если это отношение увеличивается до 20 и более, то глубина разрушаемого забоя незначительна. Учитывая, что типовой диаметр насадок составляет 5–8 мм, то при удалении забоя от насадки более чем на 100 мм эффективность процесса разрушения породы будет незначительна. Следует учесть, что в экспериментах А.А. Скочинский исследовал незатопленные струи, разрушительная способность которых гораздо выше, чем затопленных.

Для затопленных струй, наблюдающихся при расширении скважин, глубина забоя при постоянных остальных параметрах будет существенно ниже, хотя качественный характер зависимостей останется аналогичным. В этой связи при затопленных струях эффективное расстояние между забоем и насадкой будет снижаться в несколько раз. В процессе экспериментов установлено, что глубина формируемого забоя линейно увеличивается с ростом начального давления струи при постоянном диаметре насадки или с увеличением диаметра насадки при постоянном давлении.

Типовые конструкции скважин, которые должны предусматривать создание оптимального режима эксплуатации за счет

обеспечения ламинарного режима движения потока во всех элементах системы скважина – пласт, предполагают увеличение диаметра пилот-ствола иногда до 800 мм и более. Глубина проникновения кольматирующего раствора, используемого при первичном вскрытии пласта, особенно в наиболее проницаемых и продуктивных интервалах превышает 100–200 мм, а часто соответствует диаметру зоны турбулизации потока при заданных режимах эксплуатации, т.е. 700–800 мм и более.

Очевидно, что струи, истекающие из гидромониторных насадок, не могут обеспечить эффективного разрушения даже слабоцементированной породы на таких расстояниях без проникновения насадки в глубь пласта по мере разработки каверны или дополнительного механического воздействия на забой. Для выбора технологии гидромониторного расширения и конструкции инструмента важно определить динамику разрушения породы во времени.

Если в начальный момент динамическое давление струи превышает критическое, то в породе формируется цилиндрический канал. Н. Маковей обобщил большой объем экспериментов, проведенных различными авторами, и установил, что около 75 % общего объема породы разбуривается в первую секунду. В дальнейшем темп углубки канала падает и уменьшается объем выбуренной породы (рис. 4.16). После 4–5 с воздействия струи на породу увеличения глубины канала почти не происходит.

Интенсифицировать процесс разрушения породы и сократить время воздействия струи на забой позволяет добавка в воду полимерных компонентов. Например, добавка окиси полиэтилена позволяет уменьшить эффективное время воздействия струи на забой более чем в 2 раза.

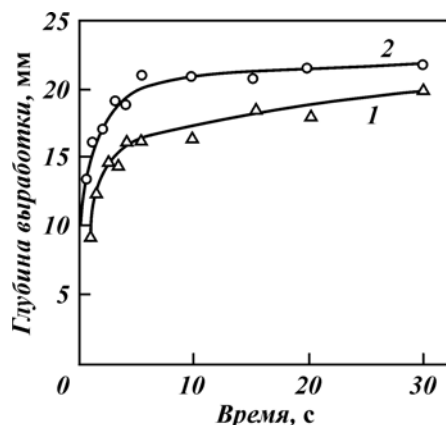


Рис. 4.16. Зависимость глубины выработываемого канала от времени воздействия струи на породу:
1 – пресная вода; 2 – вода с 0,01 % окисью полиэтилена

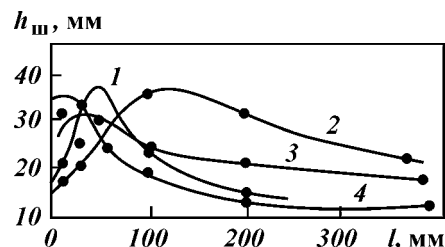
В нашей стране проводились исследования по выявлению влияния добавок полимеров к воде, используемой для разрушения пород струями высокого давления. Добавки полиакриламида (ПАА) при его содержании в воде 0,0015–0,0035 % позволяют увеличить гидродинамическое давление струи и эффективность разрушения породы. На расстоянии 50 см от насадки динамическое давление увеличивается на 10–30 %, а на расстоянии 130 см – более чем в 2 раза.

Зарубежные исследования показывают, что наиболее эффективны добавки полимеров в водные струи при удалении насадки от забоя на расстоянии более 50 мм (рис. 4.17). Необходимость воздействия струи на определенное место забоя в течение нескольких секунд накладывает свои ограничения на выбор скорости осевого перемещения снаряда и его частоты вращения. Осевая подача инструмента не должна превышать отношения диаметра вырабатываемого в стенках скважины канала к эффективному времени обработки забоя. Эффективная величина обрабатываемого забоя на 30 % выше диаметра насадки, а рациональное время обработки не превышает 5 с.

В начальный момент воздействия струи на забой предполагается, что она перпендикулярна касательной к окружности стенок скважины. Поэтому для определения давления струи на забой, справедливы уравнения (4.12) и (4.14). По мере формирования лунки направление потока в струе и выходящего из лунки становится неперпендикулярным друг другу. В правую часть уравнений (4.12) и (4.14) добавляется множитель $(1 - \cos \alpha)$, где α – угол между поступающим и отводящимся с забоя потоками. При формировании начального углубления в забое l_0 становится более 90° , и в правую часть выражений (4.12) и (4.14) добавляется множитель, превышающий единицу. Если направление отводящегося с забоя потока близко к противоположному направлению движения струи, то давление на забой [см. уравнения (4.12) и (4.14)] увеличивается в 2 раза. Этим и объясняется быстрое разрушение породы в течение первых секунд воздействия струи на забой. С развитием лунки забой удаляется от насадки и наступа-

Рис. 4.17. Зависимость глубины вырабатываемого канала от расстояния между насадкой и забоем:

1 – чистая вода; 2, 3, 4 – вода с добавлением соответственно 0,1; 0,2 и 0,05 % полимера



ет момент, когда даже удвоенного гидродинамического давления струи становится недостаточно для дальнейшего формирования забоя.

При перемещении насадки относительно первично сформированной лунки в осевом или радиальном направлениях струя потока начинает воздействовать на наклонную плоскость. Отводящийся с забоя поток жидкости при этом движется под острым углом к исходному направлению движения струи. Косинус угла в данном случае принимает положительные значения, которые меньше единицы, а гидродинамическое давление на забой снижается до значений, меньших, чем рассчитанная по формулам (4.12) и (4.14). Итак, интенсивность разрушения откосов уже сформированной лунки существенно ниже, а глубина соседней полости меньше глубины первичной лунки.

На рис. 4.18 показаны этапы разрушения забоя скважины гидромониторными расширителями. В процессе забурки формируют лунки, число которых соответствует числу гидромониторных насадок (рис. 4.18, *а*). После перемещения инструмента в осевом или радиальном направлении откосы первичных лунок становятся круче, а промежуточная между ними часть забоя разрушается значительно медленнее (рис. 4.18, *б*). Профиль забоя при этом ступенчатый, неравномерный (рис. 4.18, *в*) даже в однородных по физико-механическим свойствам грунтах.

Струйные расширители по характеру воздействия на породу подразделяются на струйные мониторы (гидроаэродинамические), гидротурбинные, гидроимпульсные.

Струйный монитор, предложенный НИНО и ПС (рис. 4.19),

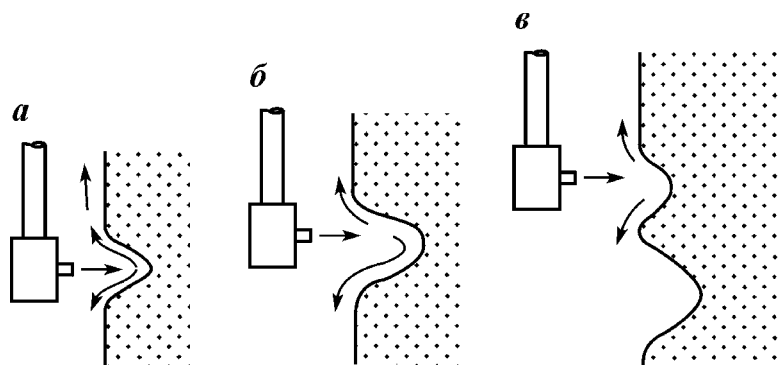


Рис. 4.18. Этапы разрушения забоя скважины гидромониторными расширителями:

а – процесс забурки; *б* – образование откосов первичных лунок; *в* – образование ступенчатого профиля забоя

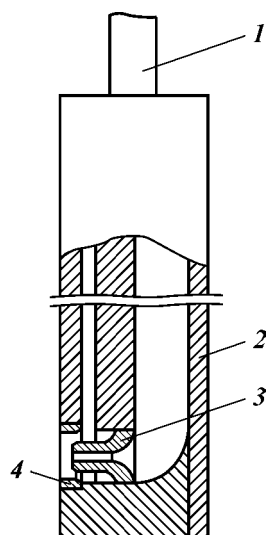


Рис. 4.19. Струйный монитор
НИНО и ПС:
1 - двойная колонна труб (для подачи воды, воздуха); 2 - корпус; 3 - водяное сопло; 4 - воздушное сопло

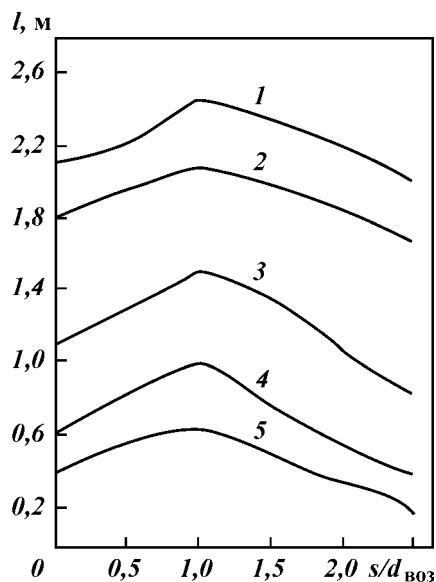


Рис. 4.20. Зависимость длины прорези в грунте от смещения водяного сопла относительно воздушного для различных диаметров водяного сопла (в мм):
1 - 5; 2 - 3; 3 - 2; 4 - 5; 5 - 1

повышает эффективность расширителя путем формирования капельной структуры струи, что приводит к возникновению динамических сил, которые увеличивают разрывающее действие водяной струи.

Для обеспечения рационального режима истечения из монитора, длина воздушного сопла должна быть не меньше величины смещения водяного сопла s относительно воздушного $d_{\text{воз}}$ (рис. 4.20). Наиболее приемлемым считается смещение, которое составляет 0,5–2 диаметра воздушного сопла.

Рассмотрим подробнее работу расширителя. В пробуренную скважину спускают монитор до проектной отметки и подают в него по трубам воду и воздух. Из водяного сопла монитора начинает изливаться водяная струя в потоке воздуха, прорезающая в грунте щель. Воздух, выходящий, с большой скоростью из выдвинутого вперед воздушного сопла, создает вокруг водяной струи зону пониженного давления. В результате этого истекающая из водяного сопла струя распадается на отдельные капли, что приводит к возникновению динамических сил, которые увеличивают гидродинамическое воздействие на забой.

В предложенном струйном мониторе существенно увеличивается эффективность разрушения породы за счет движения водяной струи внутри воздушной оболочки, которая экранирует ее от основной массы заполняющей скважину жидкости. Однако повышение эффективности работы расширителя наблюдается только при малых расстояниях между забоем и гидромонитором. При увеличении этого расстояния воздушная оболочка вокруг водяной струи нарушается и воздух начинает подниматься к поверхности. Стандартные компрессоры, используемые при буровых работах, имеют давление 0,6–0,8 МПа, в связи с чем при глубине скважины более 80 м применение известного инструмента осложняется. Кроме этого, предложенная технология может быть использована только при расширении пород низконапорных пластов, так как при высоком напоре стенки скважины не будут поддерживаться в устойчивом состоянии. Глубина статического уровня должна быть больше 0,6 глубины скважины.

При использовании гидромонитора для расширения скважины следует учитывать, что при его вертикальном перемещении в зоне разработки грунта меняется статическое давление, плотность, расход и скорость воздуха, выходящего из сопла. С подъемом монитора диаметр расширения уменьшается.

М.О. Ашрафьян и другие авторы на основании многофакторной модели разрушения пород высоконапорными струями жидкости, предложенной ЗапСибНИГНИ, рекомендуют определенные параметры расширения ствола скважины с 243–500-мм гидромониторными расширителями (табл. 4.4). Данные получены для скважин глубиной 1700 м. При этом использовали буровой раствор плотностью 1800 кг/м³, 141-мм бурильные трубы при давлении насосов 10 МПа и расширитель, состоящий из трех насадок одного типоразмера.

Таблица 4.4

Диаметр насадки, мм	Прочность пород в интервале расширения $\sigma_{доп}$, МПа	Время контакта струи с породой, с	Скорость подачи инструмента, м/ч
10,7	1,5	7,6	106,0
	3,0	22,1	30,6
	7,6	122,2	7,1
	15,0	363,0	2,2
12,0	1,6	6,4	155,0
	3,0	19,1	52,0
	7,5	100,0	9,9
	15,0	316,0	3,1
14,0	1,5	5,3	2540,0
	3,0	15,6	82,2
	7,5	57,4	17,1
	15,0	25,7	5,3

Установлено, что ствол может расширяться гидромониторами даже при прочности пород 15 МПа. Скорость расширения увеличивается в 2,5 раза при изменении диаметра насадок с 10,7 до 14 мм с учетом постоянных скоростей истечения струи, т.е. при соответствующем повышении подачи насосов в 1,7 раза. Интенсивность разрушения пород резко снижается с увеличением их прочности.

Увеличение глубины скважины снижает интенсивность гидромониторного расширения. Гидромониторные расширители, включающие гидромониторные насадки, выполненные в модернизированном замковом соединении буровых труб, центральный промывочный канал которого перекрывается шаром. Гидромониторные расширители применялись для увеличения диаметра нефтяных скважин (табл. 4.5).

В процессе испытаний установлено, что при увеличении расстояния между забоем и насадками более 25–70 мм разрушение забоя почти прекращается. В некоторых интервалах скважины зафиксирована неравномерность разрушения породы относительно оси скважины. В наиболее мягких породах диаметр расширения возрастал, что приводило к формированию глубокого забоя.

С целью совмещения операций по посадке фильтровой колонны и расширению водозаборной части скважины ПСО Востокбурвод серийно выпускается гидротурбинный расширитель (ГТР). Гидротурбинный расширитель (рис. 4.21) состоит из полого вала 1 с радиальными отверстиями, на котором посажен корпус 2 с соплами 3. Кольцевой зазор между корпусом и валом герметизирован самоуплотняющимися манжетами 4. Корпус 2 фиксируется на валу от осевого перемещения зашплинтованной шайбой 5. Верхняя часть вала выполнена в виде муфты под резьбу буровых труб. К корпусу прикреплены тормозные пластины 6. За счет реактивной силы струи, вытекающей из гидромониторных насадок 3, турбина 2 вращается вокруг оси корпуса гидротурбинного расширителя. Частота вращения турбины определяется размерами тормозных пластин, которые находятся из расчета.

Вращение насадок вокруг оси инструмента обеспечивается моментом гидродинамических сил струй, направленных по касательной к поверхности обрабатываемого забоя. Неперпендикулярное воздействие струй на забой резко снижает эффективность расширения. Поэтому представленный расширитель можно рекомендовать при удалении глинистой корки со стенок скважины при спуске фильтровой колонны.

В ПСО Востокбурвод разработан гидроимпульсный расшири-

Таблица 4.5

Номер скважины, площадь	Условия расширения ствола						
	Интервал, мм	Диаметр, мм				Плотность бурового раствора, г/см ³	Производительность насосов, л/с
		ствол скважины	буровых труб	расширителя	гидромониторных насадок		
1148, Грязевая Сопка 712, Западно-Анастасиевская 90, Каражанбас 91, Каражанбас	1414–1490	200	114	178	11	1,80	24
	1722–1752	118	89	110	8	1,30	14
	309–314	214–220	114	178	13	1,34	29
	300–315	214–220	114	178	13	1,34	20
	300–315	450	114	178	13	1,34	29
	306–311	145	114	138	8	1,34	14
	311–314	640	114	138	8	1,34	14
	314–321	214	114	138	8	1,34	10

тель, устанавливаемый в башмаке фильтровой колонны и предназначенный для размыва стенок скважины, разрушения и удаления закольматированной зоны продуктивного пласта. Конструкция расширителя (рис. 4.22) предусматривает проворот насадок вокруг оси скважины без вращения колонны труб. Крутящий момент создается смещением направления истечения струй из сопла гидромониторных насадок. Расширитель состоит из вращающейся и неподвижной частей. Во вращающейся части расположены две гидромониторные насадки, а в неподвижной – корпус для соединения с буровой колонной и прерыватель.

В процессе работы расширителя вращающаяся часть постоянно проворачивается относительно неподвижной, а поток, истекающий из сопел, периодически перекрывается прерывателем.

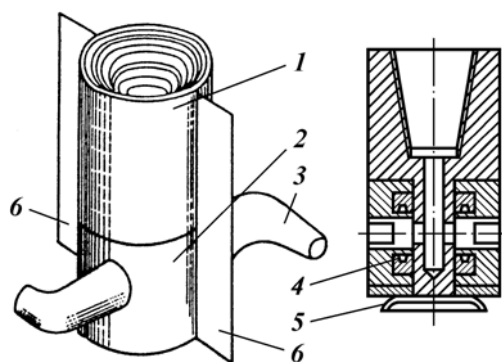


Рис. 4.21. Гидротурбинный расширитель типа ГТР

Режим расширения				Диаметр ствола после расширения, мм	
Давление на насосах, МПа	Перепад давления на насадках, МПа	Интенсивность вращения, об/мин	Расчетная скорость подачи, м/ч	расчетный	фактический
8	5,0	20	1,3	340	270
14	5,0	20	5,8	180	160
5	3,9	8	2,8	540	640
3,5	2,6	8	4,1	420	450
5	3,9	8	2,8	540	640
15	12,5	8	6,1	360	420
15	12,5	8	—	—	640
13	11	8	—	—	400

Создаются периодические гидродинамические импульсы, которые способствуют повышению давления на забой, созданию циклической нагрузки и более эффективному разрушению породы. По данным Г.П. Квашнина создание импульсов позволяет увели-

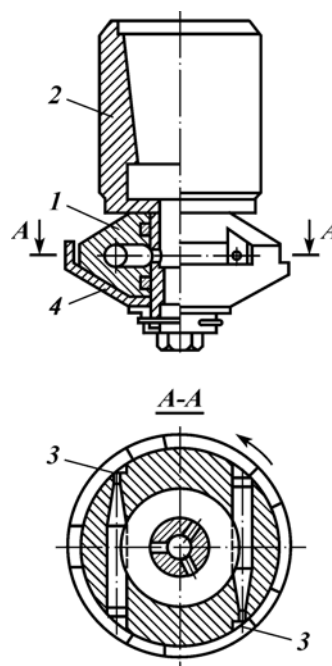


Рис. 4.22. Гидроимпульсный расширитель (ПСО Востокбурвод):
1 – вращающаяся часть; 2 – неподвижная часть; 3 – насадки; 4 – прерыватель (неподвижный)

чить давление на забое в 3–4 раза в сравнении с постоянным потоком.

Стенд для испытания разных конструкций гидротурбинных расширителей (табл. 4.6) устанавливался в емкость, имитирующую скважину. Функцию забоя выполнял образец реального грунта. За сравнительный критерий оценки эффективности ГТР был принят образец в виде двух слоев бумаги толщиной 0,4 мм, зажатых между двумя перфорированными дисками с ячейкой диаметром 5 мм. С увеличением частоты генерируемых импульсов радиус разрушения образца увеличивается при прочих равных условиях. Из всех испытываемых импульсных ГТР наиболее эффективный – гидроимпульсный расширитель с шестью узкими пластинами (см. рис. 4.22). При одинаковом гидродинамическом воздействии на стенку образца в сравнении с обычным гидромониторным расширителем он обеспечил разработку ствола скважины по окружности более глубокими каналами.

Г.П. Квашнин установил, что для разрушения образца породы, находящегося на расстоянии 80 мм от насадки, требуется обычным расширителем развить давление 0,5 МПа, а при гидроимпульсном воздействии требуется давление только 0,24 МПа, т.е. примерно в 2 раза меньшее. Воздействие параллельных друг дру-

Таблица 4.6

Тип ГТР	Параметры							
	Рабочее давление, МПа	Расход жидкостн, м ³ /ч	Сила давления струи (в МПа) на расстоянии, мм		Частота вращения, об/мин		Частота генерируемых импульсов давления, Гц	Радиус разрушения образца, мм
			80	160	турбинки	прерывателя		
Без прерывателя	2,45	14,5	15	7	2900	–	52	80
С остановленным соплом	2,45	14,5	50	20	0	–	10	150
С жестким вращающимся прерывателем с нечетным числом пластин	2,4	14,0	25	11	1800	80	125	120
То же, с четырьмя пластинами (широкими)	2,35	13,0	45	19	2300	120	140	130
То же, с шестью скошенными пластинами (узкими)	2,35	13,0	50	24	2100	40	210	145
ГТР с жестким неподвижным прерывателем	2,3	13,5	25	10	2900	0	50	125

гу струй не позволяет формировать равномерный по профилю забой. Поверхность состоит из лунок различной формы и глубины. Если направить две струи под острым углом друг к другу, то они будут способны после формирования углублений скалывать промежуточную часть породы, выравнивая тем самым формируемый забой. В.Л. Гой предложил конструкцию струйного расширителя, в которой две насадки установлены под острым углом друг к другу и выполнены с разными выходными сечениями. Оси насадок расположены на разном расстоянии от центра гидротурбины (рис. 4.23). Сечение первой насадки составляет 0,4–0,99 от сечения второй насадки.

Струйный расширитель работает следующим образом. На бурильных трубах инструмент спускают в скважину в интервал продуктивного пласта или участка проведения разглинизации, после чего по каналам промывочную жидкость через

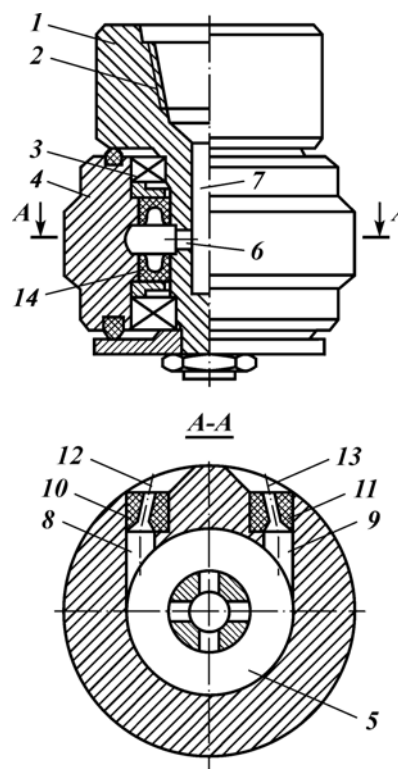


Рис. 4.23. Струйный расширитель с пересекающимися насадками:
 1 – корпус; 2 – присоединительная резьба; 3 – подшипник; 4 – вращающаяся часть; 5 – кольцевая полость; 6 – каналы; 7 – осевой канал; 8, 9 – подводящий канал; 10, 11 – насадки; 12, 13 – оси симметрии насадок; 14 – уплотнения

гидромониторные насадки на разрушаемую породу. Использование предлагаемого расширителя позволяет разрушать породу более длительным моментом воздействия струи, упрощает конструкцию инструмента и повышает его разрушающую способность за счет пересечения осей струй.

В ПО «Юганскнефтегаз» на скважинах Салымского месторождения для расширения пилот-ствола в интервале продуктивного пласта использовали гидромониторный перфоратор АП-6М. На перфораторе были установлены четыре насадки с отверстиями диаметром 6 мм. Для расширения использовали насос У8-6М при давлении нагнетания 20 МПа и подаче 22 л/с. Перепад давления на насадках составил 12 МПа при скоростях истечения струи 194 м/с (табл. 4.7).

Перфоратор спускали в скважину до кровли пласта и расширяли сверху вниз. Перед расширением в бурильную колонну бросили металлический шар, который перекрывал циркуляционный клапан. Повышение давления в нагнетательной магистрали свидетельствовало о перекрытии клапана и нормальной работе гидромониторных насадок. Инструмент вращали с частотой $1,3 \text{ с}^{-1}$ при скорости спуска 20 м/с.

Диаметр расширения увеличивается с ростом скорости истечения струи из гидромониторных насадок. Расширение скважин в интервале продуктивного пласта позволило увеличить продуктивность нефтяных скважин на 10 % (см. табл. 4.7).

Эффективность работы гидроимпульсных, гидротурбинных и гидромониторных расширителей снижается из-за удаленности насадок от забоя, особенно после начального расширения. Во ВСЕГИНГЕО предложено техническое решение, позволяющее максимально приблизить сопла расширителя к обрабатываемому забою.

Гидроимпульсный расширитель (рис. 4.24) спускают на бурильных трубах в скважину. При вращении он проворачивается

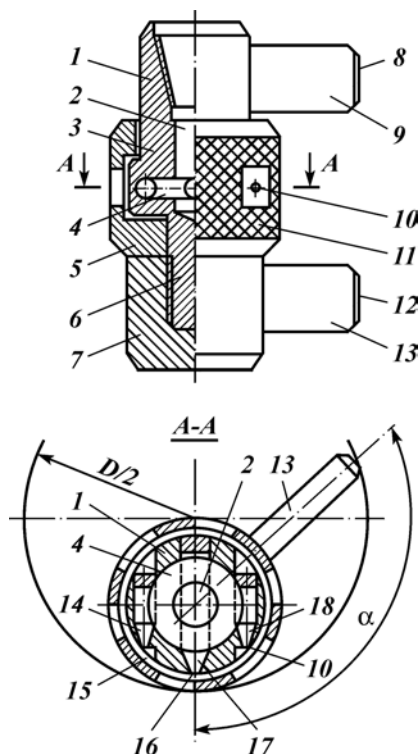
Таблица 4.7

Результаты расширения скважин гидромониторным перфоратором типа АП-6М

Диаметр долота, мм	Скорость истечения струи, м/с	Тип раствора	Интервал расширения, м	Диаметр каверны после расширения, мм
212,7	194	Глинистый	2723,4–2754,5	238–348
140,0	118	Эмульсионный	3036,0–3045,0	143–210
140,0	141	Глинистый	2743,0–2796,5	152–225
140,0	141	»	2798,2–2804,0	152–225
140,0	141	»	2809,0–2819,0	152–225

Рис. 4.24. Гидроимпульсный расширитель ВСЕГИНГЕО:

1 – замок; 2 – полость; 3 – корпус;
4 – кольцевая проточка; 5 – прерыватель;
6 – вал; 7 – фиксатор; 8, 12 – торцевые грани лопастей;
9, 13 – стабилизирующие лопасти;
10, 15, 16 – внешние сечения сопел;
11 – рабочая поверхность; 14, 17, 18 – сопла



относительно своей оси до положения, в котором торцевые грани лопастей войдут в контакт со стенкой скважины. Вращающийся в результате трения о забой прерыватель периодически перекрывает сопла, создавая тем самым гидравлические удары, способствующие интенсификации разрушения забоя. В начальной стадии – при установившемся движении расширителя – сопла направлены перпендикулярно к месту контакта рабочей поверхности прерывателя с забоем, что позволяет максимально приблизить внешние сечения сопел и обрабатываемого забоя.

В процессе проработки скважины расширитель перемещают от кровли продуктивного интервала к подошве и обратно. При необходимости получения наибольшего профиля расширения проработку интервала продолжают, пока манометр бурового насоса не покажет устойчивое изменение давления, свидетельствующее о создании такого расширенного контура, при котором отклонение расширителя от оси скважины будет недостаточным, чтобы обеспечить контакт прерывателя с забоем.

Надежной работа расширителя будет в случае превышения силы прижатия инструмента к стенке скважины реактивной силы струи жидкости, истекающих из сопел.

Сила прижатия расширителя к стенке скважины

$$F_{\text{п}} = \frac{0,43 q \omega^2 r l}{g}, \quad (4.24)$$

где q – вес 1 м бурильных труб; ω – угловая скорость вращения ротора; r – расстояние от оси скважины до оси корпуса расширителя; l – длина нижней полуволны бурильной колонны

$$l = 4,67 \sqrt{\frac{E J g}{q \omega}}, \quad (4.25)$$

EJ – жесткость бурильных труб.

Для бурильных труб диаметром 60, 73 и 88 мм и частотой вращения ротора 120 об/мин значения прижимающей силы приведены в табл. 4.8. Реактивная сила струи

$$F_{\text{р}} = K \frac{4Q^2 \rho}{10^7 \pi d_0^2}, \quad (4.26)$$

где K – коэффициент, учитывающий увеличение реактивной силы в результате гидроимпульсного прерывания потока жидкости ($K \approx 2$); Q – расход промывочной жидкости, ρ – плотность промывочной жидкости, d_0 – диаметр выходного сечения сопла.

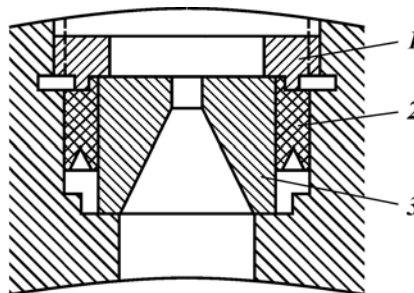
В реальных условиях сила прижатия колонны превышает реактивную силу потока, истекающего из сопел, что обеспечивает надежный контакт насадок с породой и эффективное разрушение забоя. Существенную роль на эффективность расширения оказывает конструкция насадок. Разработана и внедрена новая конструкция крепления гидромониторного узла с использованием стандартных сопел ВНИИБТ (рис. 4.25).

В предлагаемом варианте в корпусе сверлится промывочное отверстие диаметром 24 мм, а затем ему придают форму, показанную на рис. 4.25. Уступ, образовавшийся при расточке, служит

Таблица 4.8

Диаметр труб d , мм	Длина полу-волны колонны l , м	Расстояние от оси скважины до корпуса расширителя r , м	Жесткость труб EJ , 10^4 Н/м	Частота вращения ротора ω , с^{-1}	Сила прижатия $F_{\text{п}}$, 10^2 Н
60	12,60	0,117	8,364	12,56	10,00
73	13,96	0,111	19,278	12,56	16,09
88	15,63	0,103	37,332	12,56	20,61

Рис. 4.25. Крепление гидромониторного узла с использованием стандартных сопел ВНИИБТ:
 1 – упорная гайка; 2 – резиновая манжета; 3 – сопло



упором сопла 3, на который одета самоуплотняющаяся под действием перепада давления промывочной жидкости резиновая манжета 2, обеспечивающая герметизацию узла. Узел крепится с помощью кольцеобразной упорной гайки 1, вворачивающейся в корпус долота. Кольцевой уступ в корпусе и буртик на торцевой поверхности упорной гайки предотвращают осевое и радиальное смещения сопла. Высота проходного отверстия упорной гайки принята минимальной и равна 6–8 мм, а ее диаметр – 20 мм. На выходных кромках промывочного отверстия сняты фаски, что снижает размывающее действие струи. На наружной поверхности гайки нанесены крестообразные пазы для ее отворачивания, которые в последнее время заменены глухими отверстиями под вилку.

Крепление узла с помощью наворачиваемой на резьбу гайки обеспечивает легкость разборки и смену сработавшихся насадок. Опрессовка долот с узлом описанной конструкции показала, что они способны выдерживать высокие давления.

При другом варианте крепления гидромониторного узла (рис. 4.26) насадка 5 уплотняется в корпусе долота 3 по наружному диаметру двумя резиновыми кольцами 4, предварительно с натягом вставленными в кольцевые канавки корпуса долота. Удерживается насадка от выпадения на забой шайбой с раструбом 1, изготовленной из стали ШХ15, которая вставляется в выточку корпуса долота и закрепляется стопорным болтом 2.

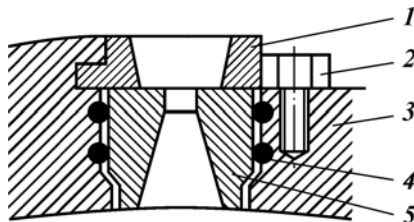


Рис. 4.26. Вариант крепления гидромониторного узла Азинмаша

Наиболее широкое применение гидромониторные расширители нашли в практике сооружения геотехнологических скважин и гидродобычи. Учитывая требования к конструкциям скважин данного назначения, предусматривающих расширение до большого диаметра, создание подземных камер, разработка инструмента осуществлялась двумя путями. Первый заключается в снижении пластового давления и осушении ствола скважины до интервала, в котором работает гидромонитор. Работа расширителя в этом случае сопровождается откачкой эрлифтом или гидроэлеватором. При работе гидромонитора в воздушной среде его разрушающее воздействие многократно увеличивается в сравнении со скважиной, заполненной жидкостью. В связи с этим появляется возможность создания в интервале расширения полостей существенных размеров.

Применение данного метода осушения возможно только при наличии продуктивных пластов сухих или с низкими пластовыми давлениями. В противном случае снижение динамического уровня до глубины залегания обильного продуктивного интервала технологически сложно и экономически неоправдано.

Второй путь заключается в создании гидромониторов, насадки которых по мере разработки пласта смещаются внутрь камеры вслед за забоем (рис. 4.27). При работе гидромонитора с гибким наконечником насадка имеет возможность максимально приближаться к забою, увеличивая тем самым эффективную силу, которая разрушает породу. Внедрение инструмента показало, что со временем пространство между шлангом и направляющей забивается песком, гибкость его снижается, и уменьшается эффективность разрушения породы. Существует много технических решений, основанных на создании инструмента, который способен изменять свою конфигурацию после спуска в скважину и углубляться внутрь пласта, но все эти устройства сложны.

Для создания полостей, характеризующихся увеличением диаметра от нижней к верхней границе продуктивного пласта, в Русбурмаш разработан инструмент, сочетающий в себе гидроэлеватор и сваб (рис. 4.28).

При спуске в скважину 4 через отверстия в свабе жидкость свободно циркулирует через снаряд, что обеспечивает минимальное гидродинамическое давление на пласт, а следовательно и минимальную возможность его кольматации. После достижения гидроэлеватором забоя снаряд поднимают сначала плавно. Отверстия в свабе 2 перекрываются и создается репрессия на пласт. Часть породы продуктивного пласта обрушается и ею заполняется ствол скважины (см. рис. 4.28, а). Инструмент спускают, включив промывку. Движение рабочего потока жидкости создает

Рис. 4.27. Скважинный гидромонитор (б) с подвижной насадкой (а)

разряжение в приемной полости гидромонитора, который работает наподобие земснаряда (см. рис. 4.28, б). Обрушенная порода из скважины через гидромонитор удаляется из ствола. После достижения гидромонитором забоя 9, инструмент поднимают, но уже на большей скорости.

Обрушается следующая часть породы, которая затем также выносится. Разработку каверны осуществляют до момента, когда депрессия на пласт при свабировании превысит расчетное понижение при эксплуатации. В этом случае в скважине образуется полость, на стенках которой поддерживается постоянный перепад давления при заданных режимах эксплуатации и равновесная суффозионная устойчивость.

При разработке полости следует обязательно определить устойчивость кровли с тем, чтобы вышележающие слабопроницаемые породы не обрушились в продуктивный интервал и не экранировали его. Рассчитать устойчивость можно по методике, аналогичной для бесфильтровых скважин. Сваб желательно ус-

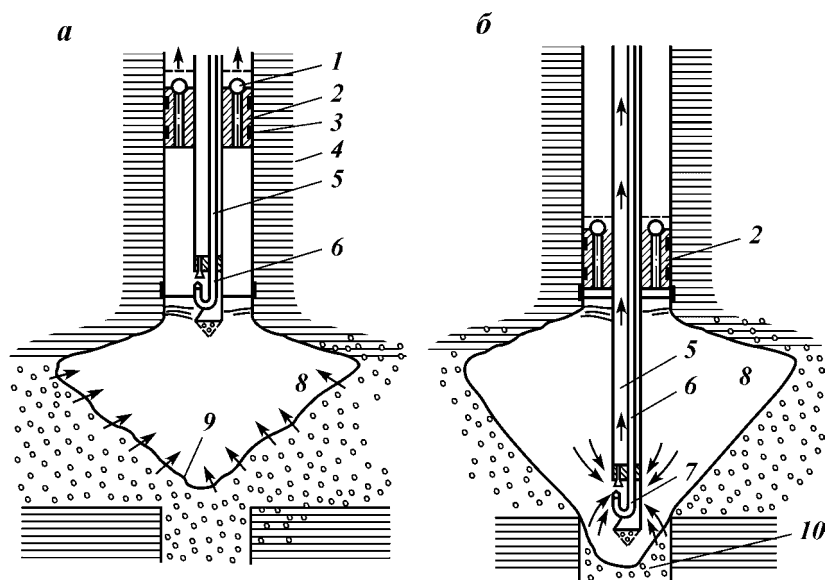


Рис. 4.28. Инструмент Русбурмаш:

1 – клапан; 2 – сваб; 3 – уплотнения; 4 – скважина; 5 – водоподъемная колонна; 6 – бурильные трубы; 7 – гидроэлеватор; 8 – каверна; 9 – забой; 10 – ствол под отстойник

тановить в колонне обсадных труб для повышения эффективности свабиворонения и снижения износа резинового элемента.

Гидромониторные, гидроимпульсные и гидротурбинные расширители из-за низкой эффективности разрушения породы, за исключением последней конструкции, почти не применяются в практике. В большинстве случаев их используют для удаления глинистой корки при спуске фильтровой колонны. Для увеличения диаметра скважин под гравийную обсыпку эти расширители мало пригодны из-за неравномерности создаваемого забоя, низкодальностью силы струи в стволе скважины, заполненном жидкостью. Гидромониторные насадки обычно используют для вспомогательного эффекта, устанавливая их в различных вариантах на эксцентричных и раздвижных расширителях.

4.1.3. ИНЕРЦИОННЫЕ РАСШИРИТЕЛИ

В инерционных расширителях при забурке инструмента в породу и разрушении забоя используют центробежную силу инерции, возникающую при вращении колонны бурильных труб. При выдвигании лопастей до упора разрушение забоя и поддержание

породоразрушающих органов в раскрытом положении осуществляется под действием осевой нагрузки. Для бурения скважин с обратной промывкой И.Л. Сергиенко рекомендует использовать инерционный расширитель с промежуточной тягой (рис. 4.29).

Техническая характеристика инерционного расширителя

Диаметр инструмента в транспортном положении, мм	176
Диаметр создаваемой каверны, мм.....	485
Выход породоразрушающей лопасти, мм.....	309
Частота вращения инструмента, об/мин	50–100
Осевая нагрузка на долото при раскрытых лопастях, кН, менее	20
Максимальный крутящий момент, Н·м	2000
Высота, мм	600

Расширитель спускают в скважину до верхней границы расширяемого интервала и начинают вращение инструмента. При этом за счет центробежной силы лопасть расширителя отклоняется от корпуса, а тяга приподнимает центрирующую втулку. Выход лопасти увеличивается до максимального, после чего проводят расширение заданным диаметром. Несмотря на простоту конструкции, данный расширитель применяют в породах, сложенных пропластками слабосцементированных песков малой мощности и с относительной однородностью по физико-механическим свойствам.

Наличие одной лопасти не позволяет центрировать инструмент и создать нормальные условия для его работы. При забурке в случае контакта лопасти с относительно твердым участком породы возможно отклонение корпуса расширителя совместно с колонной бурильных труб к стенке скважины, противоположной забою. При этом внедрение лопасти в породу существенно осложняется. В процессе работы инструмента колонна бурильных труб вместе с корпусом расширителя будет описывать прецессионное движение в скважине, которое приведет к биению инструмента, резкому возрастанию нагрузок и повышенной опасности поломки тяги, лопасти, обрыву бурильных труб.

В ПСО Востокбурвод разработан двухлопастной инерционный расширитель (рис. 4.30). Г.П. Квашнин рекомендует применять данную конструкцию для проработки ствола скважины перед спуском обсадной колонны, а также при посадке фильтровой колонны в неустойчивые водоносные пласты с прослойками пучащих глин.

Техническая характеристика двухлопастных инерционных расширителей, выпускаемых Новосибирским опытно-механическим заводом ПСО Востокбурвод

Шифр.....	РД-269	РД-295	РД-346
Диаметр, мм:			
со сложными лопастями	143	193	240
в рабочем положении.....	269±1	295±1,5	346±2
Длина корпуса, м	110	120	460

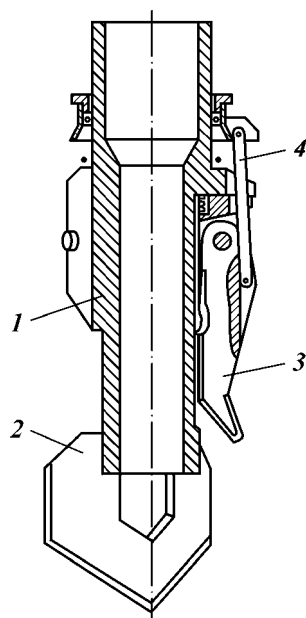
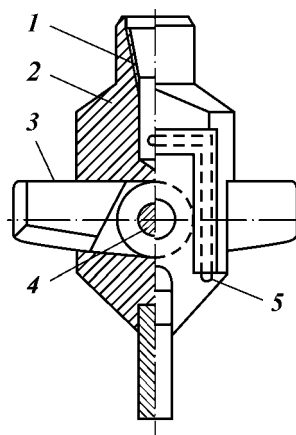


Рис. 4.29. Инерционный расширитель с промежуточной тягой:

1 – корпус; 2 – наконечник; 3 – лопасть; 4 – тяга

Рис. 4.30. Двухлопастной инерционный расширитель «Востокбурвод»:

1 – присоединительная резьба; 2 – корпус; 3 – лопасти; 4 – палец шарнира; 5 – промывочные отверстия

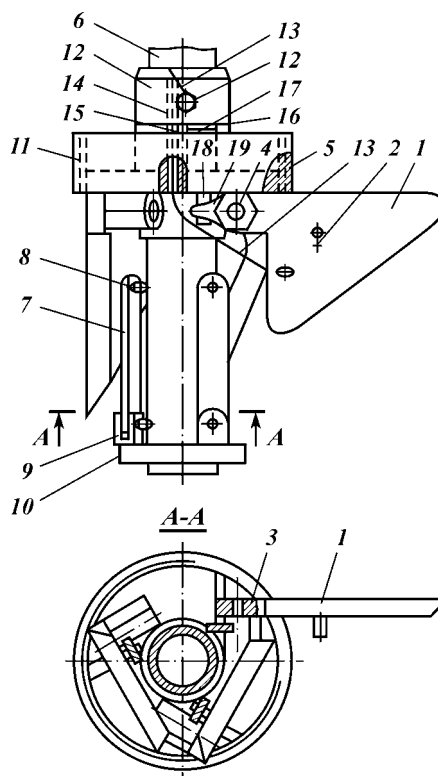


Двухлопастные инерционные расширители обеспечивают в сравнении с однолопастными конструкциями более центрированную и устойчивую работу инструмента. За счет исключения промежуточных тяг и других звеньев существенно повышается надежность работы расширителя. Лопасти посажены на одном валу, что позволяет сделать его повышенного диаметра и предохранить от разрушения. Изготовление расширителя из-за простоты его конструкции возможно в условиях механических мастерских производственных организаций.

Для расширения скважин под гравийную обсыпку и существенного повышения дебита двухлопастной инерционный расширитель может применяться в ограниченных объемах вследствие относительно малого выхода породоразрушающих органов и недостаточного диаметра создаваемой каверны.

В тресте «Укрбурвод» разработан трехлопастной инерционный расширитель (рис. 4.31) с опорой на забое скважины, предназначенный для увеличения диаметра скважины с 240 до 500–700 мм под гравийную обсыпку. Лопасти 1 расширителя имеют треугольную форму с центром тяжести 2 и отверстиями 3 под

Рис. 4.31. Трехлопастной инерционный расширитель «Укрбурвод»



оси 4 шарниров. Оси 4 шарнирно связаны с фланцем 5 буровой трубы 6. Тяги 7 шарнирами 8 связаны с лопастями 1, а шарнирами 9 – с направляющим кольцом 10, свободно перемещающимся по буровой трубе. На фланец 5 навинчен кольцевой регулируемый упор 11.

В транспортном положении лопасти 1 скреплены с болтами 12, установленными на замке буровой трубы 6 с помощью проволоки 13, пропущенных через отверстия 14 и 15 двух частей замкового соединения, между которыми при монтаже буровых труб оставлен зазор 16. Над фланцем 5 установлена форсунка 17 с выступающим плунжером 18, обращенным к рычагу 19 одной из лопастей 1.

Расширитель спускают в скважину на буровых трубах. При достижении инструментом заданного интервала колонну начинают врезать и верхнюю буровую трубу проворачивают относительно нижней, которая связана с долотом, контактирующим с

выбуренной породой. Трубу поворачивают в пределах, ограниченных зазором 16. При этом края отверстий 14 и 15 перекусывают проволоку 13, и лопасти 1 под воздействием центробежных сил выдвигаются до соприкосновения с забоем, а затем и кольцевым упором 11. Тангенциальное расположение лопастей 1 максимально удаляют центры тяжести 2 от осей шарниров, обеспечивая тем самым надежность раскрытия расширителя.

Равномерность раскрытия лопастей 1 обусловлена тем, что они связаны между собой направляющим кольцом 10.

Техническая характеристика расширителя треста «Укрбурвод»

Длина в сборе, мм	1220
Диаметр, мм:	
в сборе	240
в рабочем положении	500, 600, 700
Масса, кг	117–118

Среди инерционных расширителей конструкция треста «Укрбурвод» предпочтительна, так как обеспечивает равномерную работу лопастей вследствие их одинакового погружения и центрации инструмента. К общим недостаткам инерционных расширителей следует отнести сложность забурки в неоднородных породах и необходимость проведения расширения от верхней к нижней границе продуктивного интервала, что при прямой промывке осложняет очистку формируемой каверны от шлама.

4.1.4. РАЗДВИЖНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСШИРИТЕЛИ

Раздвижные механические расширители приводятся из транспортного в рабочее положение и обратно под действием веса инструмента. Обычно конструкции этих расширителей просты и надежны в работе. В тресте «Союзшахтоосушение» разработан механический раздвижной расширитель (рис. 4.32). Расширитель состоит из корпуса 1, имеющего в нижней части внутреннюю резьбу 2 для крепления долота. В верхней части корпуса 1 находится резьба, входящая в зацепление с гайкой 3, имеющей шестигранное отверстие, в котором расположен подвижной шток 4. Шток имеет цилиндрическую форму, в нижней части с уменьшенным диаметром. В верхней части шток 4 имеет шестигранную форму для зацепления с шестигранным отверстием гайки 3 и резьбовое соединение для крепления с замком бурильных труб 5 для передачи крутящего момента и поступательного движения от штока 4 к корпусу 1. Корпус 1 в средней части выполнен трехгранным. К каждой грани жестко прикреплены на определенном расстоянии друг от друга щеки 6, между которыми установлены на осях 8 породоразрушающие лопасти 7. Верхняя часть

The image contains four technical drawings of a mechanical assembly, labeled 'a' and 'б'.

- View 'a' (Left):** A longitudinal section of the assembly. It shows a central shaft (1) with a pin (8) passing through it. A component (3) is mounted on the shaft, and a component (4) is mounted on the pin. A component (2) is at the bottom. Section lines A-A and B-B are indicated. Arrows point to the section lines.
- View 'б' (Right):** A longitudinal section of the assembly, similar to 'a' but with different internal details. It shows a central shaft (1) with a pin (8) passing through it. A component (3) is mounted on the shaft, and a component (4) is mounted on the pin. A component (2) is at the bottom. Section lines A-A and B-B are indicated. Arrows point to the section lines.
- View A-A (Bottom Left):** A cross-section of the assembly at section A-A. It shows a central shaft (1) with a pin (8) passing through it. A component (3) is mounted on the shaft, and a component (4) is mounted on the pin.
- View B-B (Bottom Right):** A cross-section of the assembly at section B-B. It shows a central shaft (1) with a pin (8) passing through it. A component (3) is mounted on the shaft, and a component (4) is mounted on the pin.

Предлагается следующая последовательность технологических операций с использованием механического расширителя треста «Союзшахтоосушение». Скважину закрепляют до кровли продуктивного пласта обсадной колонной, которую цементируют. В скважину спускают долото, которым разбуривают цементный

стакан и породы кровли пласта на несколько метров ниже башмака обсадной колонны. После подъема долота в скважину спускают механический расширитель при спуске.

Под действием веса корпуса расширителя породоразрушающие лопасти не выдвигаются и остаются в транспортном положении. При достижении установленным ниже расширителя долотом забоя, осевая нагрузка от веса бурильной колонны передается на шток, который смещается относительно корпуса вниз. В процессе перемещения нижний торец подвижного штока взаимодействует с верхней гранью породоразрушающей лопасти, на которую передает вращательный момент, способствующий ее выдвиганию. Расширитель забуривают при вращении инструмента. Вращательный момент на породоразрушающие лопасти передается через шток, втулку с шестигранным отверстием, и затем на корпус расширителя.

Для осуществления забурки достаточно немного внедрить лопасти в породу, после чего они под действием осевого усилия выдвигаются до упора с максимальным выходом. С момента полного выхода породоразрушающих органов расширение осуществляется заданным диаметром, соответствующим диаметру инструмента в рабочем положении. При достижении расширителем нижней границы продуктивного интервала инструмент приподнимают, а породоразрушающие лопасти под действием веса снаряда удаляются в корпус и приводят его в транспортное положение. Расширитель извлекают из скважины, а приемную часть оборудуют по заданной технологии.

Внедрение расширителя на объектах треста «Союзшахтоосущение» показало эффективность новой конструкции. Однако при бурении разрезов, характеризующихся чередованием рыхлых, слабосцементированных пород с более твердыми пропластками, породоразрушающие лопасти изнашивались и ломались в опасном сечении у корпуса. Повышенный износ лопастей объясняется слишком большим выходом породоразрушающих органов из корпуса расширителя и недостаточной их армировкой твердым сплавом.

Предложенную конструкцию механического расширителя рекомендуют использовать при обратной циркуляции промывочной жидкости, что позволит улучшить вынос шлама при больших диаметрах расширения. Разбуренная порода с разрушаемого забоя уносится через кольцевое пространство скважины вниз к долоту, а затем через внутреннюю полость расширителя и бурильную колонну с восходящим потоком на поверхность. Эффективность очистки забоя при этом улучшается.

С целью повышения надежности работы породоразрушающих

органов при значительном увеличении диаметра ствола скважины автором предложен способ ступенчатого расширения. Основным принципом ступенчатого расширения считается равенство нагрузки на каждую ступень породоразрушающего органа, разрушающего ствол до определенного диаметра. Такое расширение позволяет снизить нагрузки на лопасти в несколько раз, соответствующее числу ступеней.

Наиболее опасный вид нагружения лопастей – изгиб. При одинаковых геометрических характеристиках лопастей каждой ступени под условием одинаковой нагрузки на породоразрушающие лопасти каждой ступени понимается равенство действующих на них изгибающих моментов

$$M_1 = M_2 = M_3 = \dots M_n = \text{const}, \quad (4.27)$$

где $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ – изгибающий момент, действующий на породоразрушающие органы соответственно первой, второй, третьей и n -ой ступеней расширителя.

Обеспечить постоянство изгибающих моментов, действующих на породоразрушающие органы каждой ступени, возможно только при определенном соотношении выхода каждой последующей лопасти из-под предыдущей. Опасное сечение лопастей каждой ступени совпадает с корпусом расширителя. Выход первой (от долота) лопасти, при котором она в процессе работы (в породах определенной крепости) в интервале расширения не разрушается, определяется по изгибающему моменту. Момент первой от долота ступени породоразрушающих органов расширителя, действующий на лопасть, определяли из условия прочности

$$\sigma_{\text{из}} = M/W; \quad \sigma_{\text{из}} < [\sigma_{\text{доп}}]; \quad M = [\sigma_{\text{доп}}]W, \quad (4.28)$$

где $[\sigma_{\text{доп}}]$ – допустимые напряжения материала лопасти на изгиб; M – изгибающий момент; W – осевой момент лопасти в опасном сечении.

Изгибающий момент также можно найти, исходя из действующей на лопасть нагрузки,

$$M_1 = [P_q]S \frac{L_1}{2}, \quad (4.29)$$

где $[P_q]$ – максимальное удельное сопротивление пород разрушению в интервале расширения, S – площадь контакта лопасти с породой, L_1 – длина или выход лопасти первой ступени.

Так как лопасть работает в динамическом режиме, необходимо учесть в выражении (4.29) возможное увеличение момента за счет удара введением коэффициента динамической нагрузки

K_d . Вводя в уравнение (4.29) коэффициент надежности K_n , получаем

$$M_1 = \frac{[P_q] S L_1}{2} K_d K_n. \quad (4.30)$$

Выражая площадь контакта лопасти с породой через ее толщину f и выход l_1 , равный ее длине L_1 , получаем

$$M_1 = [P_q] f L_1^2 K_d K_n / 2. \quad (4.31)$$

Поскольку толщина лопастей f в каждой ступени постоянна, запишем по аналогии с равенством (4.31) уравнения моментов для породоразрушающих органов второй, третьей и последующих от долота ступеней

$$\begin{aligned} M_2 &= [P_q] f l_2 (L_1 + 0,5 l_2) K_d K_n; \\ M_3 &= [P_q] f l_3 (L_2 + 0,5 l_3) K_d K_n; \\ &\dots\dots\dots \\ M_n &= [P_q] f l_n (L_{n-1} + 0,5 l_n) K_d K_n, \end{aligned} \quad (4.32)$$

где l_2, l_3, \dots, l_n – выход лопастей породоразрушающих органов соответственно второй, третьей и n -ой ступеней; L_1, L_2, \dots, L_n – длина лопастей породоразрушающих органов соответственно первой, второй и n -ой ступеней.

Лопастей каждой ступени будут в одинаковой степени устойчивы к разрушению только в том случае, если выполняется условие (4.27), т.е. моменты, действующие на породоразрушающие органы каждой ступени, должны быть равны. Приравнявая выражения (4.31) и (4.32), получаем необходимое соотношение, при котором соблюдается условие (4.27)

$$\begin{aligned} L_1^2 / 2 &= [(L_2 - L_1) / 2 + L_1] (L_2 - L_1) = [(L_3 - L_2) / 2 + L_2] (L_3 - L_2) = \\ &= [(L_n - L_{n-1}) / 2 + L_{n-1}] (L_n - L_{n-1}). \end{aligned} \quad (4.33)$$

Преобразуем уравнение (4.33)

$$\begin{aligned} L_1^2 / 2 &= [(L_2 + L_1) (L_2 - L_1)] / 2 = [(L_3 + L_2) (L_3 - L_2)] / 2 = \\ &= [(L_n + L_{n-1}) (L_n - L_{n-1})] / 2. \end{aligned} \quad (4.34)$$

Из равенства (4.34) получаем

$$L_1^2 = L_2^2 - L_1^2 = L_3^2 - L_2^2 = \dots = L_n^2 - L_{n-1}^2. \quad (4.35)$$

Из выражения (4.34) находим уравнения для определения длины лопастей породоразрушающих органов каждой ступени

$$\begin{aligned} L_2 &= \sqrt{2}L_1; \\ L_2 &= \sqrt{2}L_2 = 2L_1; \\ L_2 &= (\sqrt{2})^{n-1}L_1. \end{aligned} \quad (4.36)$$

Решая равенство (4.35) относительно выхода лопастей породоразрушающих органов каждой ступени из-под предыдущей, получаем

$$\begin{aligned} l_2 &= L_2 - L_1 = (\sqrt{2} - 1)L_1; \\ l_3 &= L_3 - L_2 = (\sqrt{2} - 1)^2 L_1; \\ l_n &= L_n - L_{n-1} = (\sqrt{2} - 1)^{n-1} L_1. \end{aligned} \quad (4.37)$$

Диаметр пилот-ствола скважины увеличивается на удвоенную длину лопасти самой последней от долота ступени. Длина лопасти (самой последней от долота ступени) равна сумме членов геометрической прогрессии (4.37).

Необходимость применения ступенчатого расширения определяется на основании соотношений диаметра пилот-скважины и расширяемой каверны, прочностных свойств пород и материала лопастей.

Сумма членов геометрической прогрессии (4.27) равна половине разницы диаметров скважины после и до расширения

$$L_1 \frac{(\sqrt{2}-1)^n - 1}{\sqrt{2}-2} = (D_p - D_c)/2. \quad (4.38)$$

Преобразовывая уравнение (4.38) получаем

$$1 - 0,59[(D_p - D_c)/2L_1] = 0,41^n. \quad (4.39)$$

Длина выхода первой от долота ступени породоразрушающего органа выбирается по геометрическим размерам лопасти, обусловленным условиями вписываемости, прочностными свойствами материала лопасти и разрушаемых пород

$$L_1 = \frac{2[\sigma_{\text{доп}}]Wm}{P_q SK_n K_d}, \quad (4.40)$$

где $[\sigma_{\text{доп}}]$ – допустимые напряжения на изгиб материала лопасти

расширителя, W – осевой момент инерции лопасти в опасном сечении, m – количество лопастей в одной ступени расширителя, P_q – максимальное сопротивление пород разрушению в интервале расширения, S – рабочая площадь контакта лопасти с разрушаемой породой; K_n – коэффициент надежности, K_d – коэффициент увеличения нагрузки за счет динамического режима разрушения пород.

Решая равенство (4.39) с учетом уравнения (4.40) относительно D_c , получаем минимально допустимый диаметр пилот-скважины, при котором будет обеспечиваться качественное и надежное расширение скважины в заданном интервале

$$D_c = D_p - \frac{1 - 0,41^n}{0,59} \frac{4[\sigma_{\text{доп}}]}{P_q S K_n K_d}. \quad (4.41)$$

С увеличением числа ступеней расширителя n уменьшается необходимый диаметр пилот-скважины. Максимальное уменьшение диаметра пилот-скважины при использовании многоступенчатого расширителя (по сравнению с одноступенчатым) возможно в 1,69 раза. По запланированному диаметру расширения скважины, типу и конструкции расширителя определяют минимально допустимый диаметр пилот-скважины. Пилот-скважиной расчетного диаметра вскрывают продуктивный пласт, после чего интервал расширения пилот-скважины увеличивают до заданного диаметра.

Предложенная технология внедрена на производственных объектах. Продуктивный пласт был сложен чередующимися пропластками слабосцементированных и плотных песков с глинистыми породами, с максимальным сопротивлением разрушению $P_q = 1,5 \cdot 10^6$ Па. При работе был использован двухступенчатый расширитель с тремя лопастями в каждой ступени. Лопасты изготовлены из стали с максимально допустимыми напряжениями на изгиб $[\sigma_{\text{доп}}] = 2 \cdot 10^8$ Па, осевой момент инерции лопасти в опасном сечении у корпуса, исходя из условия вписываемости, $W = 0,6 \cdot 10^{-5}$ м³, площадь контакта лопасти с породой равна площади лопасти, армированной твердым сплавом (0,01 м³).

Коэффициент надежности выбрали равным двум, а коэффициент увеличения нагрузки за счет динамического режима разрушения пород – четырем. Необходимый диаметр скважины после расширения, обеспечивающий сооружение гравийного фильтра расчетных гидравлических характеристик и соответственно необходимые эксплуатационные характеристики скважины, составил 0,4 м. Минимально допустимый диаметр пилот-скважины, при котором обеспечивается надежное и качественное

расширение скважины в заданном интервале до расчетного диаметра с учетом типа используемого расширителя

$$D_c = D_p - \frac{1 - 0,41^n}{0,59} \frac{4[\sigma_{\text{доп}}] W m}{P_q S K_n K_d};$$

$$D_c = 0,4 - \frac{1 - 0,41^n}{0,59} \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 0,6 \cdot 10^5 \cdot 3}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 4} = 0,4 - 0,176 = 0,224 \text{ м.}$$

Скважину пробурили и закрепили до кровли продуктивного пласта. Продуктивный пласт вскрыли 243-мм долотом. Пилот-скважину диаметром 243 мм расширили двухступенчатым лопастным расширителем до диаметра 400 мм в интервале установки фильтра. После этого в скважине установили фильтровую колонну и намыли гравийный фильтр.

Для надежного увеличения диаметра ствола скважины до расчетного диаметра необходимо вскрыть пласт пилот-скважиной диаметром большим, чем найденным по формуле (4.41). Увеличение диаметра пилот-ствола не всегда экономически оправдано. Если возможно, то следует рационально увеличивать число ступеней породоразрушающих органов и их прочность.

Автором разработан многоступенчатый механический расширитель, позволяющий увеличивать скважину до больших размеров под гравийную обсыпку (рис. 4.33). Расширитель имеет полый корпус 1 с боковыми пазами 2 для размещения породоразрушающих органов 3 и отверстиями 4 для их промывки, выполненными в подпружиненном пружиной 5 полом штоке 6 с зубчатыми рейками 7, соединенных с корпусом 1 с возможностью поворота в вертикальной плоскости и выполненных с зубчатым сектором 8. Расширитель снабжен долотом 9, первой 10, второй 11, третьей 12 и т.д. ступенями породоразрушающих органов 3 по m лопастей 13 в каждой ступени. Длина каждой последующей от долота 9 лопасти 13 увеличивается до максимальных значений, обеспечивающих расширение скважины до заданного диаметра.

Полый шток 6 имеет в верхней части 14 форму квадрата, жестко связан с бурильной 15 колонной. В нижнем торце 16 штока 6 имеется сопло 17, обеспечивающее движение промывочной жидкости из сопла 17 штока 6 через промывочные каналы 18 к долоту 9 в процессе бурения и промывку боковых пазов 2 после расширения скважины. Пружина 5 обеспечивает стабилизацию осевой нагрузки на породоразрушающие органы 9–12, снижает влияние продольных колебаний бурильной 15 колонны и выполняет роль компенсатора. В полом штоке 6 имеются промывочные каналы 4, расположенные напротив нижних торцов боковых па-

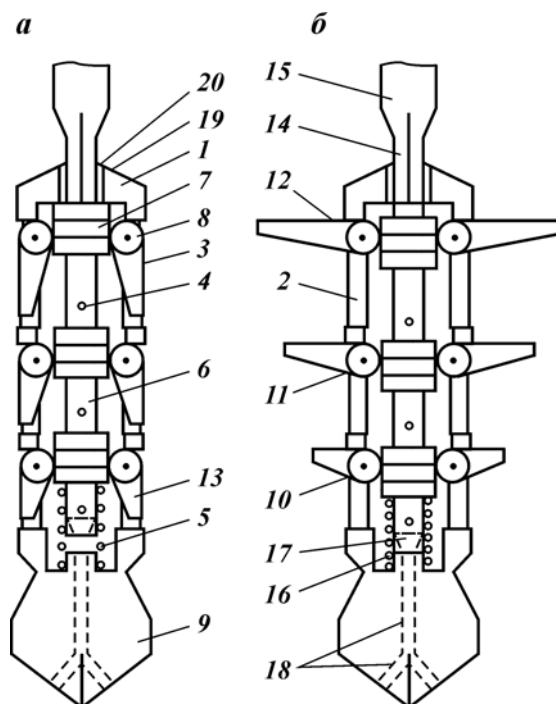


Рис. 4.33. Многоступенчатый механический расширитель:
a – транспортное положение; *б* – рабочее положение

зов 2 корпуса 1. Диаметр каналов 4 с целью обеспечения равномерной промывки боковых пазов 2 корпуса для размещения каждой из ступеней породоразрушающих органов 3 постепенно уменьшается от максимальных значений у первой ступени до минимальных у последней. В верхнем торце 19 корпуса 1 имеется квадратное отверстие 20 для возможности передачи крутящего момента от бурильной 15 колонны к породоразрушающим органам.

Перед спуском в скважину определяют число ступеней породоразрушающих органов 3, длину лопастей 13 и выход каждой.

Максимально допустимая длина первой лопасти 10 от долота 9 ступени породоразрушающих органов 3 находят из условия прочности по формуле (4.40). Учитывая, что максимально возможная площадь S контакта полости 13 с разрушаемой породой равна произведению средней толщины f лопасти 13 на ее длину для первой 10 ступени записываем

$$L_1 = \sqrt{\frac{2[\sigma_{\text{доп}}]Wm}{P_q f K_d K_n}}. \quad (4.42)$$

С учетом диаметров долота и скважины после расширения, а также длины лопасти первой ступени породоразрушающих органов, необходимое число ступеней расширителя

$$n = \frac{(D_p - D_c)^2}{4l_1} = \left(\frac{K_d K_n (D_p - D_c) P_q S}{4[\sigma_{\text{доп}}] Wm} \right)^2. \quad (4.43)$$

Полученное значение округляется в большую сторону до целого числа. Необходимо отметить, что с увеличением числа ступеней расширителя уменьшается выход каждой последующей ступени из-под предыдущей. Поэтому максимальный диаметр расширения скважины многоступенчатым расширителем и число ступеней ограничено.

Рассмотрим работу расширителя (см. рис. 4.33). В корпусе 1 расширителя устанавливают необходимое число ступеней с лопастями 13 породоразрушающих органов 3 с расчетной длиной и выходом лопастей 13 каждой ступени. На колонне бурильных 15 труб расширитель спускают в скважину. Расширитель спускают с промывкой. При опоре долота 9 на забой скважины под действием веса бурильных труб 15, полый шток 6 с зубчатыми рейками 7 опускаются вниз до соприкосновения сопла 17 с наковальней 21 корпуса 1. Пружина 5 сжимается, а через зубчатые рейки 7 полого штока 6 и зубчатые сектора 8 на лопасти 13 передается крутящий момент, способствующий их раскрытию. Промывку осуществляют через сопло 17, промывочные каналы 18 и долото 9, а также промывочные отверстия 4 полого штока 6 и боковые пазы 2 корпуса расширителя 1.

При вращении инструмента через полый шток 6, имеющий в верхней 14 части квадратные сечение и отверстие в верхнем торце 19 корпуса 1 вращательный момент от бурильной 15 колонны передается на породоразрушающие органы. Расширитель забуривают и продолжают бурение скважины до заданной глубины. После этого при подъеме бурильной колонны 15 полый шток 6 с зубчатыми рейками 7 поднимают и лопасти расширителя 13 закрываются. Нормальному закрытию лопастей способствует постоянная промывка из боковых пазов 2 корпуса расширителя. Затем инструмент извлекают на поверхность.

Расширитель применяли в процессе подготовки скважины к сооружению качественного гравийного фильтра, гидравлические характеристики которого обеспечивают заданные эксплуатационные характеристики скважины. Необходимо было расширить скважину с 0,190 до 0,30 м в интервале водоносного пласта, сложенного слабосцементированными песками с глинистыми про-

пластками. Максимальное сопротивление пород разрушению в интервале расширения составляло $P_q = 0,15 \cdot 10^8$ Па.

Диаметр корпуса расширителя при диаметре долота 0,19 м равен 0,184 м. Из условия вписываемости получаем, что максимальный осевой момент инерции лопасти в опасном сечении у корпуса при трех лопастях породоразрушающих органов расширителя в одной ступени $W = 2,3 \cdot 10^6$ м³. Лопасть была выполнена из стали с максимальным допустимым напряжением на изгиб $[\sigma_{\text{доп}}] = 2 \cdot 10^8$ Па. Учитывая, что максимальная площадь контакта лопасти с разрушаемой породой может достигать площади продольного сечения лопасти, $K_d = 4$ и $K_n = 2$ получаем из условия прочности максимально допустимую длину лопасти первой ступени породоразрушающих органов расширителя

$$L_1 = \sqrt{\frac{2[\sigma_{\text{доп}}]Wm}{P_q f K_d K_n}};$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 3}{1,5 \cdot 10^8 \cdot 0,02 \cdot 4 \cdot 2}} = 0,035 \text{ м.}$$

Необходимое число ступеней породоразрушающих органов расширителя

$$n = -1,136 \ln \left(1 - 0,59 \frac{(D_p - D_c)^2}{2L_1} \right) = -1,136 \ln \left(1 - 0,59 \frac{0,3 - 0,19}{2 \cdot 0,035} \right) = 2,96.$$

Округлив n до целого числа в большую сторону, получим минимально допустимое число ступеней породоразрушающих органов расширителя $n = 3$. Длина выхода лопасти породоразрушающих органов расширителя соответственно равны второй и третьей ступеням

$$l_2 = (\sqrt{2} - 1)L_1; \quad l_2 = 0,414 \cdot 0,035 = 0,014 \text{ м.}$$

$$l_3 = (\sqrt{2} - 1)^2 L_1; \quad l_3 = 0,414^2 \cdot 0,035 = 0,006 \text{ м.}$$

В корпусе расширителя установили три ступени породоразрушающих органов с длинами лопастей соответственно равными 0,035; 0,049 и 0,055 м.

Предложенная конструкция расширителя позволяет на основании горно-геологических условий работы и требуемой конструкции скважины обоснованно выбрать число ступеней расширителя, скомпоновать их на поверхности, укомплектовать пазы корпуса каждой ступени лопастями расчетной длины, а также оперативно изменять число ступеней расширителя и длину лопа-

стей при изменении условий проведения работ и конструкции скважины. Применение расширителя позволяет оборудовать водоприемную часть скважины эффективными конструкциями фильтров за счет равномерного расширения скважины до заданного диаметра в запланированном интервале.

Основной недостаток раздвижных расширителей – засор боковых пазов корпуса, в которых в транспортном положении располагаются породоразрушающие органы. При расширении шлам попадает в боковые пазы и забивает их. Наиболее опасно попадание в боковые пазы корпуса расширителя глинистого шлама, который со временем набухает и цементирует породу. Если пазы расширителя вовремя не очистить, то может возникнуть опасность неполного закрытия лопастей после расширения и аварии.

Автором разработан механический раздвижной расширитель, позволяющий за счет регулировки направления циркуляционного потока, своевременно очищать пазы корпуса от шлама. Техническое решение может быть успешно применено и в многоступенчатых конструкциях. Расширитель в транспортном (а) и рабочем (б) положениях показан на рис. 4.34.

Расширитель содержит корпус 1 с боковыми пазами 2 для размещения породоразрушающих органов 3, выполненных с зубчатым сектором 4, подпружиненный пружиной 5 полый шток 6 с

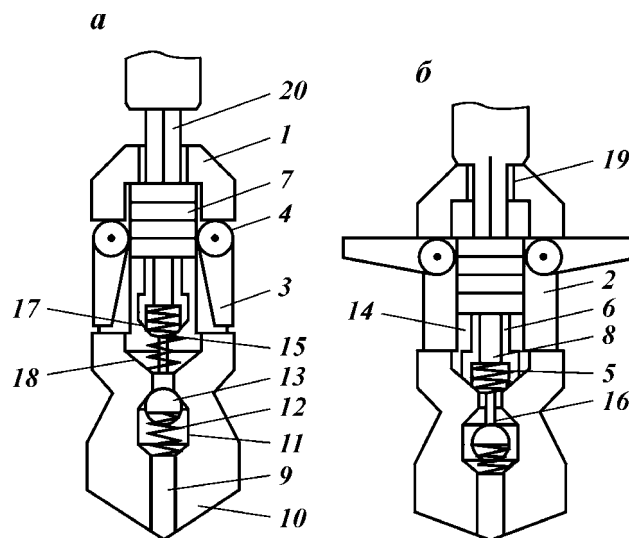


Рис. 4.34. Механический раздвижной расширитель

зубчатой рейкой 7 на наружной поверхности для взаимодействия с зубчатым сектором 4 породоразрушающих органов 3, внутренний канал 8 которого гидравлически связан с промывочным каналом 9 долота 10. В утолщении 11 промывочного канала 9 установлен клапан. В транспортном положении, т.е. когда породоразрушающие лопасти 3 закрыты и в процессе забурки, клапан герметизирует промывочный канал 9 и тем самым обеспечивает промывку боковых пазов 2 через внутреннюю полость 14 и внутренний канал 8 полого штока 6.

Гидродинамическое воздействие струй промывочной жидкости, вытекающих из боковых пазов 2 корпуса на разрушаемую лопастью 3 породу, способствует ускорению процесса забурки и улучшению условий работы лопастей 3. На нижнем торце 15 полого штока 6 находится толкатель 16. При передаче осевой нагрузки через бурильную колонну полый шток 6 опускается относительно корпуса 2, толкатель 16 давит на шар 13, пружина 12 сжимается и промывочный канал 9 открывается, что позволяет промывать скважину.

Открытие клапана происходит при половине максимального хода полого штока 6 при открытии лопастей 3 расширителя на 45°, т.е. в момент, когда дальнейшему раскрытию лопастей 3 способствует осевая нагрузка и забурка практически закончена. При полном открытии лопастей 3 на 90°, т.е. при полном ходе полого штока 6, конусное утолщение 17 на внешней поверхности нижнего торца полого штока 6 входит в конусное седло 18 и обеспечивает герметизацию внутренней полости 14 корпуса 1 и боковых пазов 2. Крутящий момент от бурильной колонны на породоразрушающие органы 3 и долото 10 передается через квадратное отверстие 19 в верхней части корпуса 1 расширителя и полый шток 6, имеющий в верхней части квадратную форму поперечного сечения.

При опоре долота 10 на забой скважины под действием осевой нагрузки полый шток 6 опускается, пружина 5 сжимается, зубчатый сектор 4 проворачивается и породоразрушающие органы 3 раскрываются. Так расширитель приводится в рабочее положение. В процессе забурки ствол скважины промывали через боковые пазы 2 корпуса расширителя 1. Гидродинамическое давление струи промывочной жидкости на контактирующие с лопастями 3 участки стенок скважины ускоряет разрушение пород, улучшает вынос разбуренной породы из-под лопастей расширителя 3, уменьшает интервал забурки и сокращает время расширения скважины.

Внутренний диаметр корпуса 1 в интервале от седла 18 до верхних торцов боковых пазов 2 превышает максимальный диа-

метр конусного утолщения 17, что обеспечивает промывку скважины через боковые пазы 2 корпуса 1. При открытии породоразрушающих органов 3 на 45° толкатель давит на шар 13 клапана, пружина 12 сжимается и открывается промывочный канал 9. Скважина в процессе бурения промывается через бурильную колонну, внутренний канал 8 полого штока 6, промывочный канал 9 и долото 10. Герметичная насадка конусного утолщения 17 на седло 18 при полном ходе полого штока 6 и раскрытии лопастей 3 на 90° исключает поступление промывочной жидкости из внутреннего канала 8 полого штока 6 в полость 14 и боковые пазы 2 в процессе бурения.

Скважину расширяют в заданном интервале. После окончания бурения инструмент приподнимают и полый шток 6 с толкателем 16 поднимаются. Под действием пружины 12 шар 13 перекрывает промывочный канал 9. Промывка скважины через долото 10 прекращается и начинают промывать от выбуренной породы боковые пазы 2 корпуса расширителя. Боковые пазы промываются через бурильную колонну, внутренний канал полого штока и внутреннюю полость расширителя. После очистки боковых пазов 2 от шлама инструмент приводится в рабочее положение, породоразрушающие органы 3 закрываются и расширитель извлекают из скважины.

Использование данного расширителя позволило проводить надежное расширение скважины в заданном интервале продуктивного пласта под гравийную обсыпку и безаварийно извлекать инструмент из скважины после окончания работ.

Общий недостаток механических раздвижных расширителей – невозможность выборочного избирательного расширения скважины в слоистом разрезе. Особенно процесс расширения осложняется при наличии в разрезе глинистых пород. При разбурировании глинистых пород образуется естественный раствор с низкими структурными свойствами, который при контакте со стенками скважины приводит к кольматации продуктивного интервала. Интенсивность кольматации усугубляется повышенными диаметром скважины после расширения и приемистостью скважины. С точки зрения засорения пласта наиболее опасно разбурирование глинистых пород под отстойник. Кроме этого, использование механических раздвижных расширителей предполагает (с целью обеспечения нормальной забурки инструмента) обязательное первичное вскрытие пласта хотя бы на несколько метров обычным долотом, что приводит к дополнительным затратам на спуско-подъемные операции.

Простота и надежность конструкции раздвижных механических расширителей обуславливают целесообразность их приме-

нения в разрезах, не содержащих в продуктивном интервале глинистые пропластки, и мощных толщах разнородных по физико-механическим и фильтрационным свойствам пород.

4.1.5. РАЗДВИЖНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСШИРИТЕЛИ

Раздвижные расширители с приводом от гидравлики циркуляционной системы скважины нашли широкое применение в мировой практике, что объясняется преимуществами их конструкций. Прежде всего это возможность оперативного приведения инструмента из транспортного в рабочее положение включением, выключением или регулировкой режимов промывки, а следовательно, и избирательного расширения скважины в любых интервалах независимо от их числа и расположения. При этом появляется возможность пропускать глинистые породы и не нарабатывать естественный раствор, наличие которого приводит к коагуляции продуктивного пласта и общему снижению эксплуатационных параметров скважины.

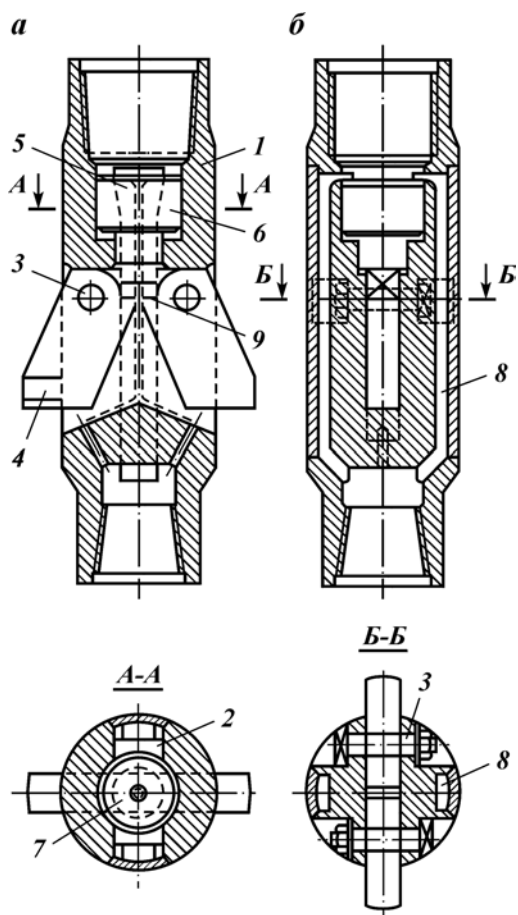
Раздвижные механические расширители были впервые разработаны в России, а за рубежом в это время отдавали предпочтение нераздвижным конструкциям, состоящим из эксцентричных лопастей, фрез, роликов и цепных звеньев, установленных по боковой поверхности буровой колонны.

Расширитель Капелюшникова (рис. 4.35) состоит из цилиндрического корпуса 1 со сквозным продолговатым окном 2, в котором на шарнирных осях 3 установлены породоразрушающие лопасти 4 с ограниченным поворотом. Вдоль оси корпуса 1 имеется цилиндрический канал 5, в котором помещен подвижный поршень 6, шток 7 которого имеет возможность передвигаться в сквозном цилиндрическом отверстии 8 в корпусе расширителя. Нижний торец 9 штока упирается в выступы на породоразрушающих органах 4. В нижней части расширителя находится переводник для присоединения долота, а в верхней – для соединения с колонной буровых труб.

Расширитель спускают в заданный интервал и начинают промывку скважины. В начальный момент промывки насос прессует пока поршень под действием давления внутри инструмента не опустится и не откроются обводные промывочные каналы в корпусе расширителя. При спуске поршня подвижной шток нижним торцом воздействует на породоразрушающие органы, сообщая им вращательный момент. Полное раскрытие лопастей происходит за счет осевой нагрузки инструмента.

После полного раскрытия лопастей режим циркуляции уже не оказывает влияния на их выход и диаметр расширения. После

Рис. 4.35. Расширитель Капелюшникова



окончания работ (при подъеме инструмента) лопасти убираются в корпус. Расширитель приводится в транспортное положение, когда верхние кромки лопастей упираются в башмак обсадной колонны. Поршень и шток в этот момент на них не действуют, так как насос выключен.

Расширитель Капелюшникова прост и надежен. Особенно удачно расположение поршня относительно промывочных каналов, которое позволяет приводить инструмент в рабочее положение при любых режимах промывки. Недостаток конструкции — неэффективная очистка забоя при прямой промывке и перемещении инструмента от нижней границы продуктивного интервала к верхней. Кроме этого, для приведения инструмента в транс-

портное положение необходимо его поднимать до упора, что не всегда удобно (например, при поинтервальном расширении).

Гидравлический расширитель Асеева (рис. 4.36) отличается от предыдущей конструкции тем, что для раскрытия породоразрушающих лопастей, помимо гидравлического усилия, используют

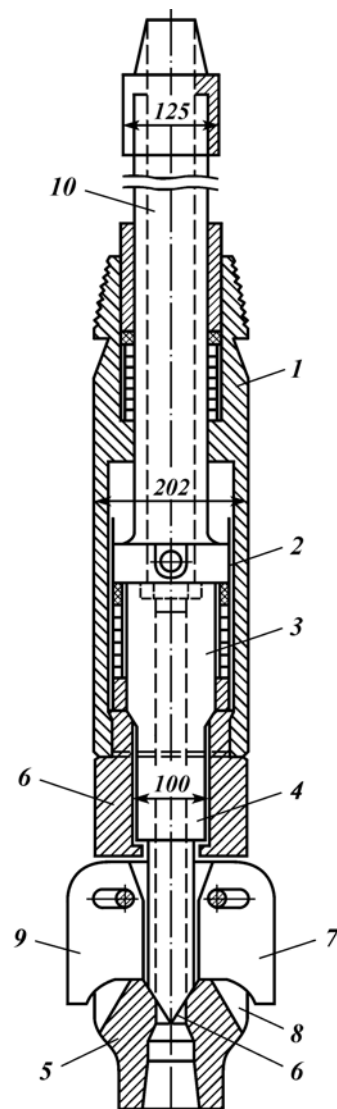


Рис. 4.36. Расширитель Асеева

вес инструмента при опоре долота на забой. Корпус расширителя состоит из двух частей, соединенных между собой левой резьбой, которая не допускает раскручивания верхней части 1 корпуса расширителя при правом вращении инструмента.

Верхняя часть корпуса представляет собой полый цилиндр, внутри которого движется поршень 2. Последний имеет два штока – верхний 3 (круглый) и нижний 4 (квадратный). Оба штока точно пригнаны к соответствующим осевым выемкам в верхней и нижней частях корпуса расширителя, служащим направляющими для штоков. Осевая выемка в нижней части 5 имеет квадратное сечение, как и шток 4. Шток 3 имеет в верхней части переходник для соединения с бурильной колонной. Шток 4 удлинен и переходит в клин 6, который входит в промежуток между лопастями 7, расположенными в сквозном пазу 8 в нижней части корпуса расширителя 5.

Лопастей 7 проворачиваются на круглых пальцах 9 своими отверстиями эллиптической формы, допускающими передвижение лопастей 7 в направлении, перпендикулярном к оси расширителя. Наружные кромки лопастей 7 скошены в сторону, обратную их вращению. Вдоль оси всего расширителя через верхний шток 3, поршень 2 и нижний шток 6 просверлен сплошной канал 10 для прохождения промывочной жидкости. Площадь сечения верхней части канала 10, начиная от конца верхнего 3 штока до фланца, вдвое больше площади сечения нижней его части. Во фланце просверлено боковое отверстие, диаметр которого равен осевому каналу.

Во время спуска в скважину расширителя его корпус висит на штоке, удерживаемый фланцем. При достижении долотом забоя штоки с поршнем перемещаются относительно корпуса вниз. Клин на конце нижнего штока входит в пространство между породоразрушающими лопастями, выдвигая их в рабочее положение.

При включении промывки и попадании потока промывочной жидкости он разделяется во фланце на две равные части. Одна идет через осевой канал на забой, а другая – через отверстие во фланце в камеру над поршнем. Давление промывки удерживает шток в нижнем положении, при котором породоразрушающие органы остаются в рабочем положении.

После расширения промывку останавливают и инструмент поднимают вверх. Шток с поршнем поднимают относительно корпуса расширителя, освобождая породоразрушающие лопасти. При подъеме инструмента и контакте лопастей с породой, а затем и с башмаком обсадной колонны они убираются в корпус.

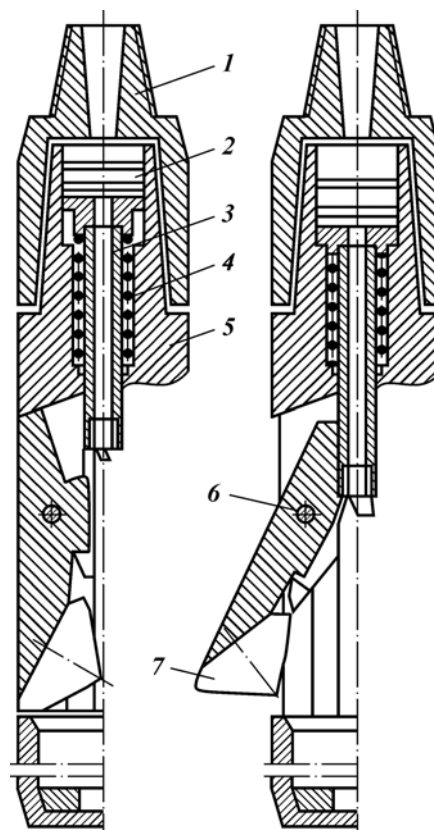
Один из принципов создания давления в надпоршневой зоне и удержания за счет этого расширителей в рабочем положении при перемещении корпуса относительно штока вверх используется сейчас для производства расширителей ведущими зарубежными фирмами.

Конструкция расширителя Асеева сложнее, чем предыдущая, хотя и не лишена недостатка – отсутствие оперативного приведения инструмента из рабочего в транспортное положение. Однако конструкция Асеева, в отличие от расширителя Капелюшникова, может работать при перемещении снаряда снизу вверх. Диаметр расширения инструмента Асеева ограничен конструктивными особенностями, так как выход породоразрушающих лопастей зависит от толщины клина. В этой связи расширитель Асеева можно применять преимущественно для снятия глинистой корки, калибровки ствола перед спуском обсадной или фильтровой колонны. Для создания каверны под гравийную обсыпку больше пригоден расширитель Капелюшникова, так как в нем выход породоразрушающих органов ограничен только прочностными характеристиками лопастей.

Несколько усовершенствовали конструкцию расширителя Капелюшникова сотрудники Татарского нефтяного НИИ (рис. 4.37). Породоразрушающие лопасти были заменены на шарошечные лапы, а подвижной поршень снабдили пружиной. Расширитель состоит из корпуса 5, в котором выполнены сквозные пазы для размещения на осях 6 породоразрушающих органов 7. Внутри корпуса 5 имеется сквозной канал, в котором установлен подвижной поршень 2 с толкателем 3 в нижней части. Поршень подпружинен пружиной 4, а корпус 5 имеет в верхней части переходник 1 для соединения с бурильными трубами.

Расширитель спускают в заданный интервал и фиксируют у верхней границы продуктивного интервала. Включают промывку. Под действием перепада давления на поршне 2 он опускается, сжимая пружину. При перемещении поршня вниз относительно корпуса толкатель воздействует на верхнюю поверхность шарошечных лап и передает на них раскрывающий момент. Начинают вращение инструмента и проводят забурку. Расширение осуществляют сверху вниз. При этом осложняется промывка расширенного интервала, так как формируемая каверна имеет больший диаметр и выполняет функцию, аналогичную шламовой трубе. Разбуренный шлам при недостаточной мощности насосного оборудования и наличии в пласте песка средних и крупных фракций оседает в пилот-стволе, предназначенном под отстойник. Конструкция низа расширителя, исключающая возможность забойной промывки или подсоединения

Рис. 4.37. Расширитель Татарского нефтяного НИИ



долота, не предусматривает очистку пилот-ствола от обрушенного шлама.

После окончания работы и снятия давления поршень поднимается под воздействием усилия пружины. Однако при поднятии поршня на шарошечные лапы не передается закрывающий момент по причине свободного контакта верхней части лопастей и низа толкателя. Шарошечные лапы, как и в конструкции Капелюшникова, убираются только при подъеме инструмента за счет контакта с породой или башмаком обсадной колонны. При забивке боковых пазов корпуса породой, что вполне вероятно при предусмотренной схеме промывки, приведение расширителя в транспортное положение осложняется и возможна авария.

При использовании в качестве породоразрушающих органов

шарошечных лап диаметр расширения ограничен и не превышает двух диаметров корпуса расширителя. С учетом необходимого начального зазора между корпусом и стенками пилот-ствола, начальный диаметр может быть увеличен не более чем в 1,8–1,9 раза.

Для сооружения высокодебитных скважин такой каверны и толщины гравийной обсыпки недостаточно. Поэтому данный расширитель может использоваться преимущественно для разбуhrивания глинистой корки со стенок скважины в интервале продуктивного пласта перед посадкой фильтровой колонны после длительного простаивания ствола после первичного вскрытия. При разбуhrивании твердых пропластков, имеющих в разрезе, эффективна замена лопастных породоразрушающих органов на шарошечные. Вместе с тем механизм приведения породоразрушающих органов в рабочее положение, особенно при забурке в сцементированном интервале пород, более удачен в конструкции Капелюшникова, чем в рассматриваемой, несмотря на то, что создана она была на много лет раньше.

Р. Бейкер предложил конструкцию расширителя (рис. 4.38), которая предусматривает закрытие породоразрушающих лопастей без пружин за счет использования веса корпуса инструмента. При разработке расширителя автор ставил перед собой следующие основные задачи:

- поинтервальное увеличение диаметра скважины за счет использования для выдвижения породоразрушающих органов давления промывочной жидкости;

- увеличение числа породоразрушающих лопастей для обеспечения стабильности работы инструмента и толщины лопастей в опасном сечении;

- независимость величины выхода породоразрушающих лопастей от давления промывочной жидкости после их полного выдвижения;

- снижение нагрузок на лопасти;

- предотвращение оседания шлама на забой за счет обеспечения движения потока промывочной жидкости сквозь корпус инструмента;

- эффективность разрушения породы за счет особой конфигурации и расположения гидромониторных насадок;

- оперативное и надежное приведение расширителя из рабочего в транспортное положение и обратно.

Раздвижной гидравлический расширитель сконструирован с возможностью его спуска в скважину через обсадную колонну при убранных в корпус режущих элементах. При достижении требуемого интервала резцы выдвигаются из корпуса расширите-

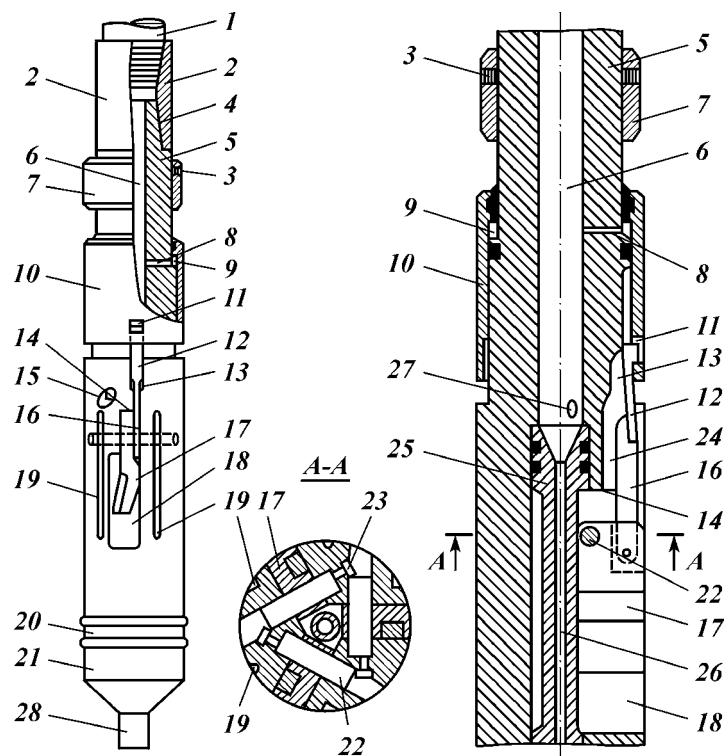


Рис. 4.38. Раздвижной гидравлический расширитель Р. Бейкера

ля под действием гидродинамического давления жидкости, образуя при этом каверну.

Расширитель (см. рис. 4.38) имеет цилиндрический корпус 5, в верхней части которого сделано резьбовое соединение 4 с муфтой 2, находящейся на нижнем конце колонны бурильных труб 1. Снизу корпус 5 оснащен центратором 21, имеющим заостренный конец для беспрепятственного спуска инструмента через обсадную колонну в скважину. Центратор 21 предохраняется от случайного отвинчивания специальным кольцом 20, которое крепится к корпусу 5 инструмента и центратору 21 сварными швами. Если требуется отсоединить центратор от расширителя, то необходимо срезать кольцо 20.

В корпусе расширителя под одинаковым углом 120° выполнены три продольные щели 18, в которых на пальцах 22 установлены режущие элементы 17. Пальцы 22 фиксированы от

случайного выпадения из отверстий болтами 23 со стороны упоров.

Верхняя часть продольной щели 18 имеет ширину, соответствующую толщине верхней части режущего элемента, позволяя ему свободно поворачиваться на пальце 22. Нижняя часть щели намного шире ее верхней части, с тем чтобы профильный участок режущего элемента мог свободно входить в корпус расширителя.

Цилиндр 10 установлен на суженный участок корпуса 5 для того, чтобы поверхность цилиндра не выходила за габариты инструмента. Между корпусом 5 и цилиндром 10 оставлено кольцевое пространство 9, сообщающееся через отверстие 8 с центральным промывочным каналом 6. Кольцевое пространство 9 изолировано от внешней среды уплотнительными манжетами. В верхней части цилиндра 10 уплотнительная манжета имеет заостренную форму для того, чтобы в процессе перемещения цилиндра по поверхности корпуса 5 удалять с него посторонний материал.

При прокачивании промывочной жидкости через расширитель в кольцевом пространстве 9 создается давление, действующее на выступ цилиндра 10. Перемещение цилиндра 10 вверх передается режущим элементом 17 через шарнирную систему, для размещения которой в корпусе расширителя от верхней грани щели 18 сделана продольная выемка 24, которая переходит в другую выемку 13 в перпендикулярной плоскости.

Шарнирная система состоит из двух направляющих штоков, разных по толщине и соединенных между собой сварочным швом. Верхний шток 12 заканчивается внешним выступом, который помещен в более широкое отверстие 11 в нижней части цилиндра 10, а нижний конец штока 16 с помощью пальца соединен с режущим элементом. Очевидно, что промывочная жидкость в кольцевом пространстве 9 будет поднимать цилиндр 10, который зацепит выступы штоков 12 и через шарнирную систему повернет режущие элементы 17 на пальцах 22. Перемещение цилиндра 10 ограничено стопорным кольцом 7, закрепленным на корпусе 5 с помощью винтов 3.

Крайнее верхнее положение цилиндра еще не соответствует полному выдвижению режущих элементов, которое достигается действием на них составляющей веса бурового снаряда через сформированный уступ в стволе скважины, а также свободным ходом выступов штоков в отверстиях цилиндра 10.

Перепускная труба 25, которая направляет поток промывочной жидкости вниз, перекрывает щели 18, исключая утечку бурового раствора. Верхняя часть трубы 25 плотно прилегает к

стенке центрального канала за счет уплотнительных колец, а нижняя часть установлена на сопло, подпираемое полым винтом 28.

Диаметр канала 26 в трубе 25 меньше, чем диаметр канала 6 в корпусе расширителя. Этого достаточно, чтобы увеличить давление в кольцевом пространстве 9 для подъема цилиндра 10 и раздвижения режущих элементов. Последние в раскрытом положении наклонены выступающей частью в сторону вращения инструмента с тем, чтобы обеспечить эффективное разрушение уступа *Б*, поскольку лезвие режущего элемента не имеет ни положительного, ни отрицательного угла наклона. Изогнутый профиль режущих элементов способствует их большей устойчивости к деформациям от крутящего момента.

Пальцы 22 режущих элементов 17 смещены, что дает возможность (за счет увеличения расстояния от пальца до упора 14 режущих элементов 17 с верхней гранью щели 18) уменьшить усилие, передаваемое уступом *Б* на пальцы 22.

С целью увеличения эффективности разрушения уступа *Б* на него направляют поток промывочной жидкости, способствуя этим выносу оставшихся продуктов разрушения горной породы, которые ограничивают внедрение лезвий в разрушаемую фракцию. Для того чтобы создать направленное гидродинамическое воздействие, над каждым режущим элементом в корпусе расширителя сделан канал 27, в котором установлена гидромониторная насадка 15. Последняя позволяет создать высоконапорную струю промывочной жидкости и направляет ее в место контакта лезвия режущего элемента с уступом *Б*, гарантируя вынос шлама и хорошую очистку твердого сплава.

В процессе создания расширенного профиля скважины отмечается износ корпуса расширителя, это происходит в результате его контакта со стенкой скважины. Износ корпуса 5 уменьшают созданием заполненных карбидовольфрамовым сплавом выемок 19, расположенных с обеих сторон от каждой щели. Применение подобных калибраторов позволяет существенно уменьшить износ поверхности корпуса расширяющего долота.

После расширения подачу промывочной жидкости прекращают и бурильные трубы поднимают. При соприкосновении режущих элементов 17 с башмаком обсадной колонны они поворачиваются вокруг своих осей и убираются в корпус расширителя.

Отличительная особенность предложенной конструкции раздвижного расширителя с промежуточными кулачками (рис. 4.39) от рассмотренных ранее в том, что породоразрушающие шарошечные лапы связаны с подвижным внутри корпуса штоком посредством кулачков. Это позволяет после окончания работ, ис-

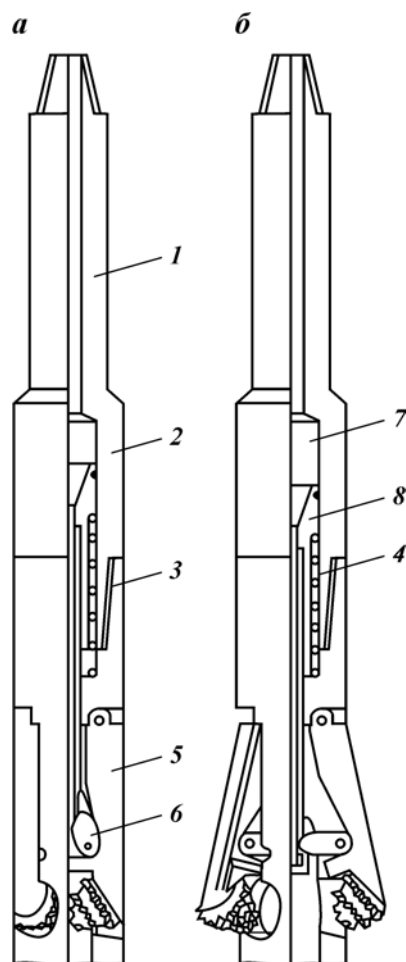


Рис. 4.39. Расширитель с промежуточным кулачковым механизмом:
а – транспортное положение; *б* – рабочее положение; 1 – бурильные трубы; 2 – корпус; 3 – соединение корпуса; 4 – пружина; 5 – породоразрушающая лопасть; 6 – кулачки; 7 – рабочая камера; 8 – втулка

пользуя возвратное усилие пружины при снятии давления промывки, принудительно убрать шарошечные лопасти внутрь корпуса и не дожидаться достижения инструментом башмака обсадной колонны.

С целью увеличения диаметра расширения в тресте Промбурвод был разработан гидравлический раздвижной расширитель с промежуточными тягами (рис. 4.40). При включении промывки (после достижения инструментом заданного интервала) под действием гидродинамического давления поршень и шток опускаются относительно корпуса и породоразрушающие органы уси-

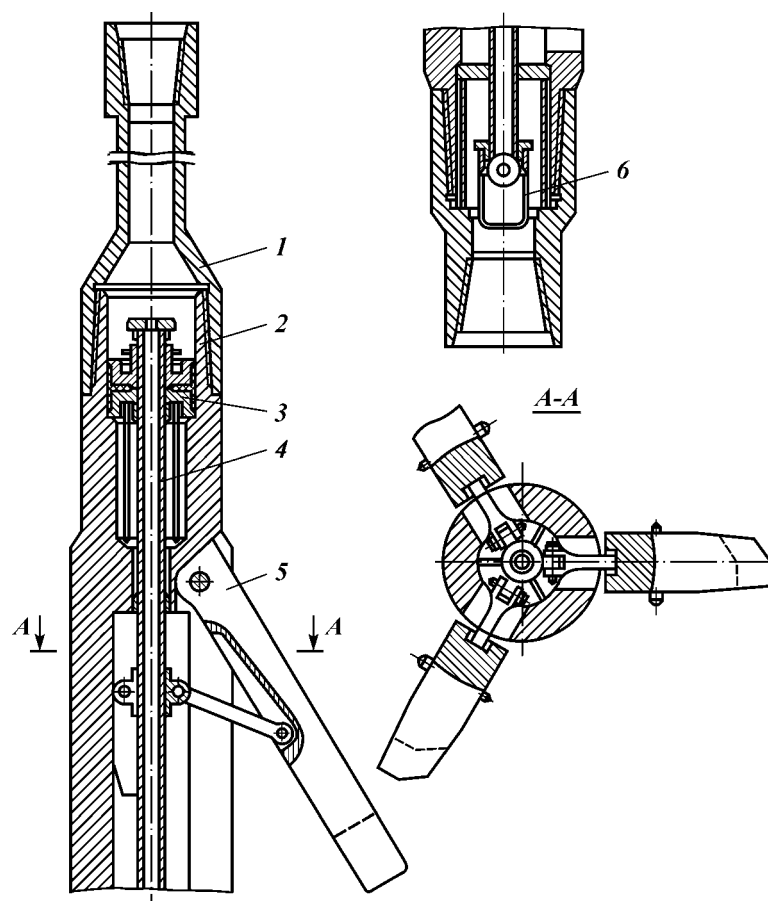


Рис. 4.40. Расширитель лопастной конструкции Промбурвод:
 1 – переходник; 2 – корпус; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – лопасть; 6 – обратный клапан

лием, передаваемым через промежуточные тяги, забуриваются в породу.

Породоразрушающие органы приводятся в рабочее положение энергией промывки после спуска поршня и жестко связанного с ним штока относительно неподвижного корпуса, которое сопровождается сжатием пружины. В нижней части штока к нему и внутренней поверхности шарошечных лап шарнирами прикреплена промежуточная тяга. При спуске штока промежуточная тяга выдвигает породоразрушающие органы.

Отметим следующие недостатки описанной конструкции:

низкая надежность выдвижения и складывания породоразрушающих лап вследствие наличия промежуточных тяг, шарнирных соединений;

корпус состоит из двух частей, что снижает его прочность, а при правой резьбе может обуславливать отвинчивание верхней части;

низкая надежность приведения инструмента в транспортное положение из-за зависимости от надежности работы пружины;

необходимость поддержания определенного перепада давления на расширителе для удержания шарошечных режущих элементов в раскрытом положении.

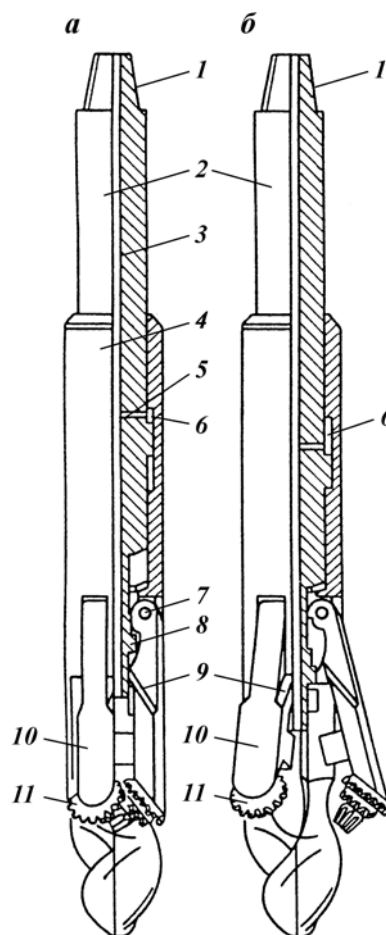
К этим недостаткам следует также добавить и низкий коэффициент расширения, равный отношению конечного диаметра каверны к начальному, который для данной конструкции меньше 1,8–1,9. Шарошечные органы убираются в круглые углубления в корпусе. При работе они могут забиваться породой. Циркуляционная схема расширителя не предусматривает промывку этих отверстий при необходимости. Отмеченные недостатки снижают надежность работы инструмента. Загерметизировать поршень внутри корпуса просто, что характеризует беспрепятственное и многоцикловое перемещение внутри корпуса.

Внедрение расширителя показало низкую надежность его работы. Породоразрушающие органы быстро обламывались или изнашивались, а промежуточные тяги выламывались из мест крепления. Поэтому данная конструкция не нашла широкого применения в практике. В конструкции гидравлического раздвижного расширителя «Локоматик» фирмы «Бейкер» подвижным элементом считается не шток и поршень, а корпус расширителя (рис. 4.41).

Бурильная колонна жестко связана с фигурным штоком, который входит в зацепление с внутренней поверхностью трех шарошечных лап, установленных на пальцах в корпусе с возможностью выдвижения при повороте. Корпус расширителя выполнен подвижным относительно жестко связанного с бурильной колонной штока. В верхней части корпус имеет герметичное соединение, обеспечивающее предотвращение утечки промывочной жидкости и дросселирования давления внутри корпуса расширителя.

После спуска расширителя в скважину включают промывку. Давление в рабочей камере поднимается, и корпус расширителя приподнимается относительно бурильной колонны и штока. Породоразрушающие органы при этом подьеме взаимодействуют с фигурной поверхностью штока и выдвигаются из корпуса, инструмент вращают и осуществляют забурку. Определенное давле-

Рис. 4.41. Расширитель «Локомастик»:
а – транспортное положение; *б* – рабочее положение; 1 – резьбовое соединение; 2 – полый шток; 3 – промывочный канал; 4 – корпус; 5 – канал рабочей камеры; 6 – рабочая камера; 7 – ось шарошечных лап; 8 – толкатель; 9 – опорная поверхность шарошечных лап; 10 – шарошечная лапа; 11 – шарошка



ние в нагнетательной магистрали необходимо только для забурки инструмента. При бурении породоразрушающие органы из-за фигурной конфигурации остаются выдвинутыми под действием осевой нагрузки. Расширитель «Локомастик» предусматривает герметизацию корпуса в верхней части.

Расширитель «Локомастик» характеризуется преимуществами, среди которых следующие:

- надежность выдвижения и закрытия породоразрушающих лопастей за счет специального запатентованного механизма;
- отсутствие промежуточных тяг. Лопасты убираются в корпус

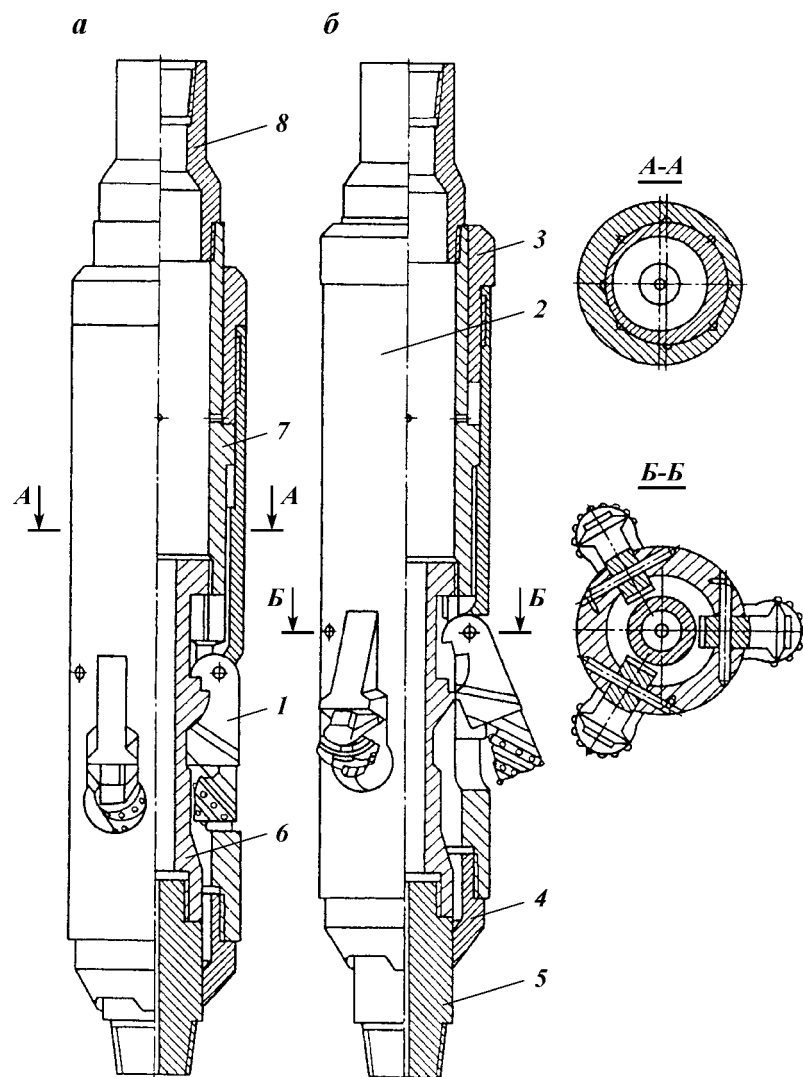


Рис. 4.42. Расширитель ВИОГЕМ:

a – транспортное положение; *б* – рабочее положение; 1 – лопасть, армированная шарошками; 2 – корпус; 3 – верхний переходник; 4 – нижний переходник; 5 – замок; 6 – подвижной шток; 7 – гильза; 8 – муфта

после прекращения промывки под действием веса инструмента;
корпус неразъемный и состоит из одной детали, что предотвращает его развинчивание и повышает прочность;

специальная конструкция плечей на лапах и пазов в корпусе обеспечивает разгрузку штифтов, снижает опасные нагрузки на лопасть.

Кроме этого, породоразрушающие органы расширителя убираются в пазы специальной фигурной формы, которые существенно меньше забиваются породой.

Расширители «Локоматик» выпускаются в нескольких модификациях, предусматривающих различные схемы промывки и вооружение породоразрушающих лап.

Раздвижной гидравлический расширитель ВИОГЕМ (рис. 4.42) предусматривает промывку через долото, устанавливаемое в нижней части расширителя, а сочленение подвижного штока и шарошечных лап имеет характер двухстороннего зацепления.

Рассмотрим работу расширителя ВИОГЕМ. После спуска в нужный интервал и включения промывки поток по бурильной колонне и внутреннему подвижному узлу расширителя поступает через отверстия в ведущей трубе в рабочую камеру и за счет образовавшегося перепада давления, возникающего в дросселирующем переводнике-насадке, перемещает вверх узел расширителя. При этом шарошечные лапы, скользя по упорному уступу штанги, выдвигаются в рабочее положение.

При вращении снаряда на выдвинутые и прижатые под усилием гидравлики к забою лапы передается крутящий момент и происходит забурка снаряда. В раскрытом положении инструмент поддерживается после этого уже не гидравлическим давлением, а весом инструмента. После расширения и снятия давления под действием веса подвижного узла он перемещается относительно неподвижного, убирая шарошечные лапы в корпус.

Расширитель ВИОГЕМ может быть многократно приведен в рабочее и транспортное положение в одном стволе. Положительный момент конструкции – отсутствие возвратных пружин и промежуточных тяг. Породоразрушающие органы приводятся в транспортное положение под действием веса корпуса расширителя.

Техническая характеристика расширителя ВИОГЕМ

Диаметр расширителя в транспортном положении, мм	377
Лапы	Сменные
Категория пород по буримости	До VIII
Способ разрушения породы	Механический
Способ выдвижения рабочих органов	Гидравлический
Рекомендуемый перепад давления, МПа	3,5–4,0
Частота вращения ротора, об/мин	40–65
Максимальная осевая нагрузка, кН	30
Максимальное горизонтальное, усилие долота на стенку скважины при забуривании, кН	15
Длина расширителя, мм	2400
Масса, кг	1030

Надежность работы расширителя в скважине зависит от центрирования инструмента внутри ствола. При асимметричном расположении расширителя нагрузка на породоразрушающие органы распространяется неравномерно, что приводит к их ускоренному износу. Кроме этого, возникает повышенная вибрация буровой колонны.

Обеспечить центрирование расширителя в стволе скважины с начальной кавернозностью только за счет двух-трех породоразрушающих органов сложно.

Существует расширитель с выдвижными режущими элементами, приводимыми в раскрытое положение давлением промывочной жидкости (рис. 4.43). Над долотом установлен стабилизатор с выдвижными центраторами, который имеет замковый переходник под буровые трубы, на которых комбинированное устройство спускают в скважину.

Расширитель при подаче вниз выдвинутыми режущими элементами формирует расширенный профиль скважины. Расположенный сверху стабилизатор, перемещаясь вместе с долотом,

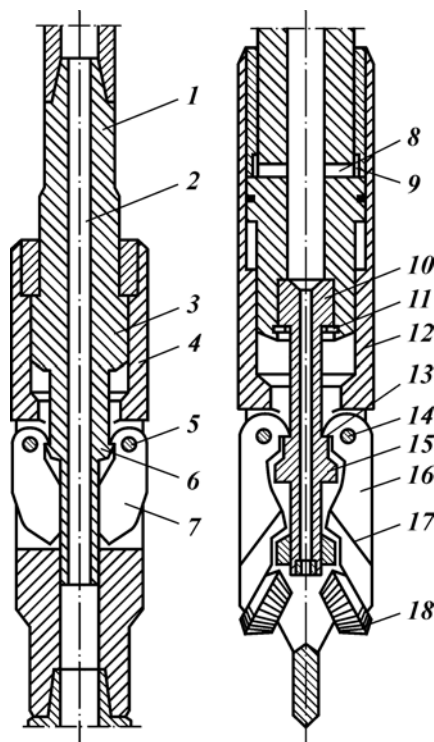


Рис. 4.43. Расширитель с выдвижными центраторами:

1 – полый шток; 2 – промывочный канал; 3 – передаточный вал с профильной поверхностью; 4 – корпус; 5 – ось центратора; 6 – толкатель центратора; 7 – центратор; 8 – канал рабочей камеры; 9 – рабочая камера; 10 – полая труба с толкателями; 11 – стопорная шайба; 12 – корпус расширителя; 13 – фиксатор шарошечных лап в транспортном положении; 14 – ось шарошечных лап; 15 – толкатель шарошечных лап; 16 – шарошечная лапа; 17 – упор шарошечных лап в рабочем положении; 18 – шарошки

центрирует его в расширенном стволе. Центрирующие плечи (центраторы) выдвигаются из корпуса стабилизатора только после того, как нижнее долото сформирует уступ в стенке скважины. Механизм раскрытия и зажатия лопастей и стабилизаторов в расширителе по принципу не отличается от описанных расширителей применительно «Локомастик» в ВИОГЕМ.

Стабилизация расширителей может быть использована выше или ниже породоразрушающих органов. Следует отметить, что при установке стабилизатора выше породоразрушающих лопастей центрация инструмента лучше вследствие большего диаметра стабилизирующих органов. Стабилизатор может располагаться на любом расстоянии от корпуса расширителя, что позволяет центрировать инструмент при начальной известной кавернозности ствола.

Общий недостаток расширителей, предусматривающих закрытие породоразрушающих лопастей под действием веса инструмента без возвратных пружин, – сложность надежной герметизации подвижного корпуса относительно неподвижного штока в условиях интенсивных нагрузок и абразивного износа. В этой связи большей устойчивостью к нагрузкам и надежностью характеризуются расширители, в которых подвижной элемент размещен внутри жесткого корпуса, воспринимающего основные нагрузки и предохраняющего уплотнения между подвижными деталями от непосредственного контакта со шламом в открытом стволе скважины.

Разработаны модификации скважинных расширителей, предусматривающих перемещение под действием давления промывочной жидкости внутри корпуса подпружиненного штока, взаимодействующего с выдвигаемыми породоразрушающими органами. Расширитель модификации *XL* (рис. 4.44) содержит корпус, имеющий в верхней части переходник для соединения с бурильной колонной, а в нижней – для присоединения долота. Корпус в интервале размещения породоразрушающих органов имеет утолщение диаметра, максимально приближенного к диаметру пилот-скважины. В утолщенной части корпус армирован твердым сплавом или алмазной кромкой с целью минимизации износа. Уменьшение зазора между стенками скважины и корпусом инструмента позволяет снизить опасные нагрузки на лопасти, улучшить центрацию расширителя. В продольном канале корпуса установлен подпружиненный полый шток, способный перемещаться в осевом направлении.

При начале промывки за счет перепада давления на подвижном штоке он опускается и надавливает своими выступами на породоразрушающие лопасти, которые из-за передаваемого кру-

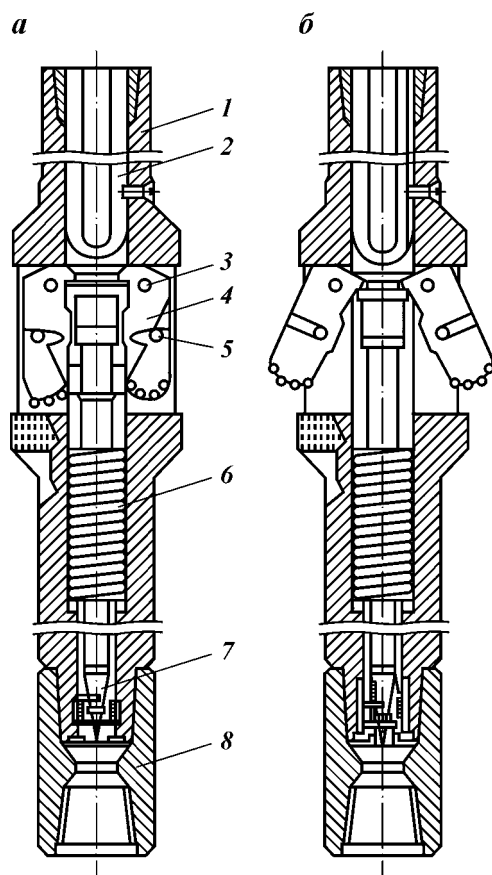


Рис. 4.44. Кулачковый расширитель серии XL:

a – транспортное положение; *б* – рабочее положение; 1 – корпус; 2 – подвижный шток-поршень; 3 – пальцы; 4 – породоразрушающие лопасти; 5 – ограничитель выдвижения лопасти; 6 – возвратная пружина; 7 – гидромониторный узел; 8 – муфта

тящего относительно неподвижно закрепленных в корпусе пальцев выдвигаются, и расширитель приводится из транспортного в рабочее положение. Для гарантийного открытия лопастей, происходящего только при определенном перепаде давления на штоке, в его нижней части вмонтировано сопло.

При прохождении потока промывочной жидкости через сопло на нем поддерживается давление, которого достаточно для отжатия пружины. Использование стандартных гидромониторных насадок в инструменте позволяет оптимизировать изготовление инструмента независимо от производительности бурового насоса и максимального давления. В инструменте использованы гидромониторные насадки, которые служат для отклонения потока на режущие плечи, обеспечивая этим хорошую очистку и охлажде-

ние алмазных резцов, а также направляют поток на забой скважины.

Основной корпус выточен из твердой стальной заготовки, обеспечивающей необходимую надежность, а его конструкция способна преодолеть нагружения, намного превышающие обычные технологические условия, которые можно ожидать в процессе расширения. Корпус оборудован верхней цилиндрической муфтой, сделанной специально для инструмента, и нижней муфтой, соединяющей корпус расширителя с долотом. Все связи в расширителе испытаны и обеспечивают прочность соединений.

На рабочую грань режущих лопастей нанесена алмазная прессованная пудра. Инструмент разработан для алмазных резцов во избежание основных проблем, связанных с шарошечным типом расширителя, т.е. сварными плечами и возможностью потери конусов на забое, особенно у инструментов малого диаметра. Режущие лезвия держатся открытыми струей бурового раствора и приложенной осевой нагрузкой. Струя промывочной жидкости проходит через внутреннее сечение лопастей, истекая из двух гидромониторных насадок, способствуя лучшей очистке и разрушению забоя.

Техническая характеристика расширителей типа XL

Серия	600	800	1200	1700
Диаметр, мм:				
корпуса	145	212	310	443
пилот-скважины	151–190	243	320	490
расширителя	215	310	468	658

Использование расширителей типа XL позволяет увеличить диаметр скважины не более чем в 1,5 раза. Для существенного увеличения дебита такого контура гравийной засыпки чаще всего бывает недостаточно.

Для создания каверн большего диаметра используют расширители с реечной передачей (рис. 4.45). На подвижном штоке монтируется рейка, а на внутренней поверхности породоразрушающих лопастей – зубчатый сегмент. При спуске или подъеме штока за счет реечной передачи лопасти породоразрушающих органов надежно открываются и закрываются. Технология применения расширителя схожа с описанной для модификаций инструмента XL. Отличительная особенность представленной конструкции заключается в усилении зубчатой пары за счет смещения зубчатой рейки относительно оси симметрии корпуса в сторону, противоположную расположению лопастей. Действующий момент на зубья при забурке расширителя при этом уменьшается.

Основное тело инструмента изготовлено из твердой стали,

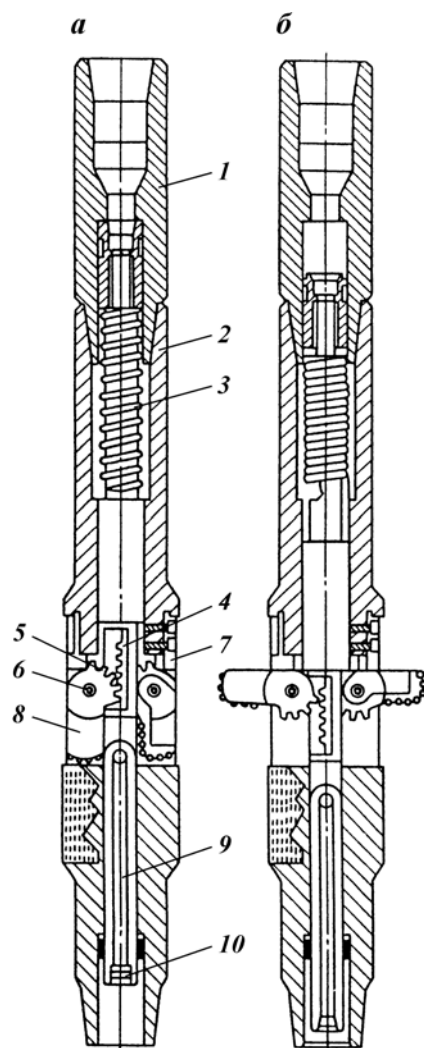


Рис. 4.45. Реечный расширитель серии XL:

1 – верхний переход; 2 – корпус; 3 – возвратная пружина; 4 – реечный привод; 5 – зубчатая поверхность лопасти; 6 – ось лопасти; 7 – сменные упоры; 8 – породоразрушающие лопасти; 9 – центральный промывочный канал; 10 – насадка

обеспечивающей необходимую прочность. Узлы сконструированы так, чтобы противостоять высоким нагрузкам, связанным со значительным раскрытием породоразрушающих органов, требуемым для создания гравийного фильтра высокодебитной скважины. Для армирования лопастей используют алмазные резцы.

Реечные расширители позволяют увеличивать диаметр пилот-ствола более чем в 2 раза. Например, при диаметре корпуса

136 мм выход лопастей составляет около 380 мм, а при диаметре корпуса 212 мм – 480 мм.

А.Н. Закхеев и другие авторы разработали раздвижной гидравлический расширитель с реечной передачей (рис. 4.46). Расширитель включает полый корпус 1, связанный через верхний переводник 2 с колонной бурильных труб 3. Внутри полого корпуса 1 установлен поршень 4, выполненный заодно с полым штоком 5, на внешней стороне которого по периметру имеются зубчатые рейки 6. В полом корпусе 1 выполнены пазы, в которых на осях 7 установлены породоразрушающие органы 8 с зубчатым сектором, входящим в зацепление с зубчатыми рейками 6. На внешней стороне полого корпуса 1 над пазами установлено опорное кольцо 9. Нижний конец полого штока 5 проходит внутри направляющей втулки 10 и содержит буртик 11. В полом корпусе 1 соосно с полым штоком 5 установлена втулка 12 с внутренними кольцевыми выступами 13. Полость корпуса 1 над втулкой 12 постоянно связана через насадки 14 со скважиной. Полый шток 5 опирается на пружину 15. Поршень 4 и полый шток 5 уплотнены в корпусе расширителя манжетами 16.

На колонне бурильных труб расширитель спускают в скважину в заданный интервал и начинают промывку с постоянным расходом.

Поршень вместе с полым штоком опускают вниз с возможным проворотом породоразрушающих лопастей. Пружина при этом сжимается, а породоразрушающие органы выдвигаются. При передаче инструменту вращения осуществляют забурку инструмента.

Кольцевой зазор между верхним кольцевым выступом втулки и буртиком в начальный момент минимален, вследствие чего гидравлическое сопротивление кольцевого зазора и перепад давления на расширителе максимальны. При перемещении поршня площадь сечения кольцевого зазора увеличивается, а перепад давления на расширителе уменьшается. При раскрытии породоразрушающих органов на 45° буртик совмещается со средним кольцевым выступом. Перепад давления при этом снова увеличивается до максимума. Далее, при смещении буртика вниз относительно среднего выступа перепад давления снова уменьшается, а при приближении породоразрушающих органов к предельному раскрытию буртик совмещается с нижним кольцевым выступом и давление рабочей жидкости снова увеличивается до максимального. По перепадам давления в нагнетательной магистрали контролируют выдвижение породоразрушающих органов при забурке и расширении.

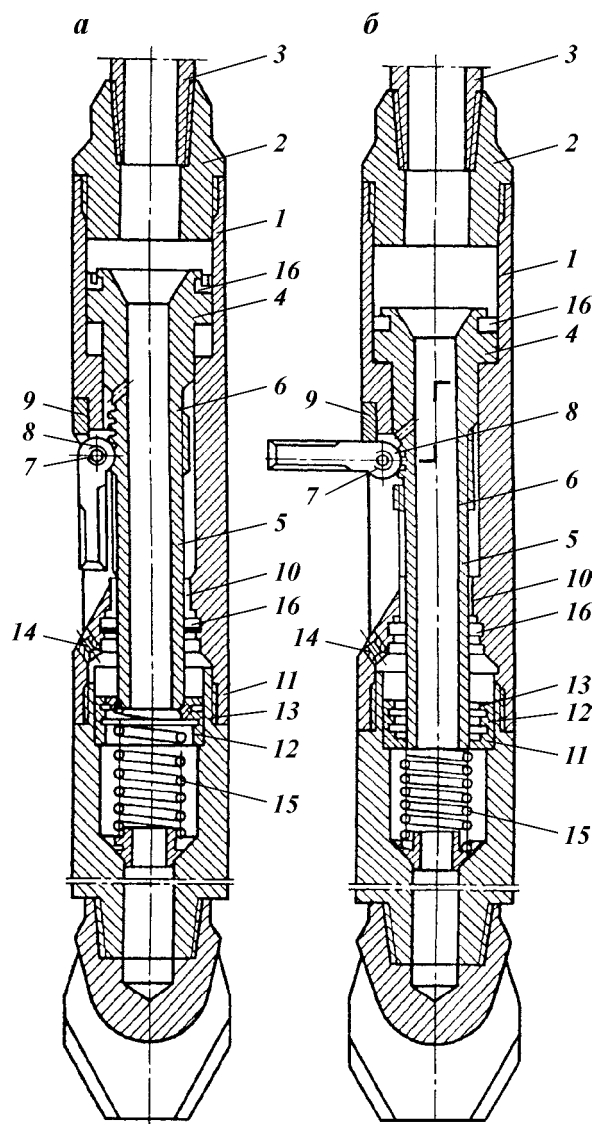


Рис. 4.46. Расширитель НПО Союзтермнефть:

a – транспортное положение; *б* – рабочее положение; 1 – полый корпус; 2 – верхний переводник; 3 – бурильные трубы; 4 – силовой поршень; 5 – шток; 6 – зубчатая рейка; 7 – оси; 8 – резцы; 9 – опорное кольцо; 10 – направляющая втулка; 11 – буртик; 12 – втулка; 13 – кольцевые выступы; 14 – насадки; 15 – пружина; 16 – манжеты

Обеспечить расширение до большего диаметра одной лопастью сложно, даже при выдерживании нужной прочности. Породоразрушающие органы при этом ломаются в опасном сечении, и дальнейшего эффективного расширения скважины не происходит. Уменьшить нагрузку на лопасти можно за счет ступенчатого увеличения диаметра скважины.

В многоступенчатой конструкции расширителя породоразрушающие лопасти или резцы выдвигаются с помощью промежуточных тяг, наличие которых существенно снижает надежность работы инструмента. Для повышения надежности работы расширителя следует предельно уменьшить число промежуточных связей, как, например, в конструкции многоступенчатого механического расширителя ВСЕГИНГЕО. Многоступенчатые конструкции расширителей сложны в изготовлении и дороги. Снизить нагрузки на лопасти можно поэтапным расширением ствола скважины с увеличением выхода породоразрушающих органов.

Автором разработан способ поэтапного расширения скважин (рис. 4.47), который заключается в последовательной подработке ствола скважины вдоль продуктивного интервала при челночном перемещении расширителя. Нагрузки на породоразрушающие лопасти при этом снижаются в число раз, соответствующее перемещению инструмента вдоль продуктивного интервала или этапом расширения. Последовательность технологических операций при поэтапном расширении показана на рис. 4.47.

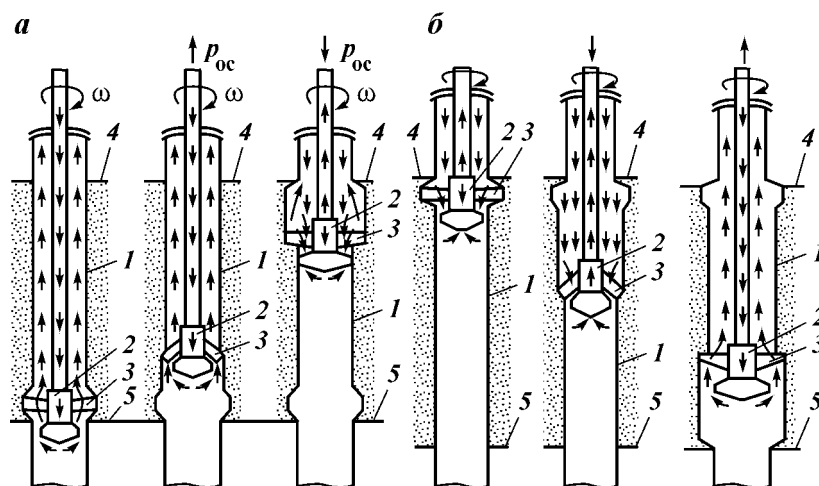


Рис. 4.47. Последовательность технологических операций при поэтапном расширении

В скважину 1 спускают расширитель 2 с породоразрушающими органами 3 в закрытом положении (рис. 4.47, а). Расширитель 2 фиксируют у верхней 4 границы интервала расширения, которая обычно совпадает с кровлей продуктивного пласта. Скважину 1 промывают при обратной циркуляции очистного агента. Породоразрушающие органы 3 расширителя 2 приводятся в рабочее положение с максимальным выходом, при этом на инструмент передается крутящий момент без осевой нагрузки и осуществляется забурка расширителя 2. После забурки на инструмент передают осевую нагрузку в направлении от устья скважины 1, уменьшают выход породоразрушающих органов 3 и осуществляют проходку расширителя 2 вдоль интервала расширения и расширение скважины 1 до диаметра D_2 , при этом поддерживают обратную циркуляцию очистного агента в скважине 1.

При расширении скважины (рис. 4.47, б) до диаметра D_2 до нижней границы интервала расширения меняют знак осевой нагрузки на инструмент на противоположный, увеличивают выход породоразрушающих органов 3 расширителя 2 до максимальных значений, переходят на прямую циркуляцию очистного агента в скважине 1 и осуществляют проходку расширителя 2 вдоль интервала расширения от нижней 5 к верхней 4 границе интервала расширения. Скважину 1 при этом расширяют до расчетного диаметра.

Значение выхода породоразрушающих органов 3 расширителя 2 на второй стадии расширения выбирается, исходя из условия одинаковой нагрузки на породоразрушающие органы 3 при расширении скважины 1 на втором этапе с диаметра ствола пилот-скважины до диаметра D_2 и расширении на третьем этапе с диаметра D_2 до расчетного. Крутящий момент на породоразрушающую лопасть 3 на втором и третьем этапах расширения будет одинаков, если ее выход на втором этапе составляет 0,708 максимального выхода.

Направление движения инструмента при расширении совпадает с направлением движения очистного агента в кольцевом пространстве скважины. Вследствие значительного увеличения скорости движения очистного агента в кольцевом пространстве основного ствола скважины (по сравнению со скоростью движения потока в расширенном интервале) у поверхности разрушаемой породы возникает градиент давления, пропорциональный разнице квадратов скоростей движения потока в расширенном интервале и кольцевом пространстве остального ствола скважины, способствующий подосу пулпы из интервала расширения и улучшенной очистке забоя.

В случае сложности обеспечения обратной циркуляции технология может осуществляться следующим образом. В скважину спускают расширитель 2 и фиксируют его у нижней 5 границы интервала расширения. Скважину промывают при прямой циркуляции очистного агента. Породоразрушающие органы 3 расширителя 2 приводят в рабочее положение максимальным выходом, при этом на инструмент передается крутящий момент без осевой нагрузки, и забуривают расширитель 2.

После забурки на инструмент передают осевую нагрузку. В направлении к устью скважины уменьшают выход породоразрушающих органов расширителя и осуществляют проходку расширителя вдоль интервала расширения до диаметра D_2 . При этом поддерживают прямую циркуляцию очистного агента в скважине. При расширении скважины до диаметра D_2 (до верхней границы интервала расширения) меняют знак осевой нагрузки на противоположный и увеличивают выход породоразрушающих органов расширителя до максимальных значений.

Интервал расширения увеличивают в направлении от верхней 4 к нижней 5 границе, при этом меняют характер циркуляции очистного агента в скважине на обратную промывку или продувку. Таким образом, направление движения инструмента совпадает в процессе расширения с направлением движения очистного агента в кольцевом пространстве скважины.

Поэтапное расширение скважины позволяет уменьшить нагрузки на породоразрушающие органы расширителя в процессе разрушения породы. В продуктивных пластах, сложенных песками с пропластками более крепких пород, применение одноэтапного традиционного расширения не обеспечивает равномерного увеличения диаметра скважины в заданном интервале из-за быстрого износа, поломки породоразрушающих органов расширителя. Предлагаемый способ позволяет также отказаться от сложных многоступенчатых расширителей 2.

Так, скважину необходимо было расширить в интервале водоносного пласта 170–180 м, сложенного тонкозернистым песком с прослойками песчаника с диаметра пилот-скважины 0,19 до 0,5 м под гравийную обсыпку. Применение в аналогичных условиях одноэтапного расширения не позволяло получить требуемого расширения из-за поломки породоразрушающих органов расширителя у корпуса. В скважину до кровли водоносного пласта спустили расширитель. Скважину промыли при обратной циркуляции.

При промывке породоразрушающие органы расширителя максимально выдвинулись из корпуса. После забурки и передачи на инструмент осевой нагрузки от устья к забою скважины умень-

шили выход породоразрушающих органов с 0,16 до 0,11 м и осуществили проходку расширителя вдоль интервала расширения от верхней к нижней границе и увеличение диаметра пилот-скважины с 0,19 до 0,41 м. В процессе движения инструмента сверху вниз скважину промывали при обратной циркуляции очистного агента.

После достижения расширителем нижней границы поменяли знак осевой нагрузки на противоположный, увеличив выход породоразрушающих органов до максимальных значений (с 0,11 до 0,16 м) и осуществили проходку расширителя вдоль интервала от нижней к верхней границе снизу вверх и изменили диаметр скважины с 0,41 до 0,5 м (расчетное значение). После достижения расширителем верхней границы интервала породоразрушающие органы закрыли и инструмент извлекли из скважины. В аналогичных условиях проводили расширение при прямой промывке.

В скважину до подошвы водоносного пласта спустили расширитель, промыли при прямой циркуляции. При этом породоразрушающие органы расширителя стали выдвигаться до максимальных значений (0,16 м), а при передаче крутящего момента на инструмент забурили расширитель, после чего на втором этапе работ к инструменту приложили осевую нагрузку в направлении устья скважины, уменьшив выход породоразрушающих органов расширителя (до 0,11 м) и при проходке расширителя вдоль интервала от нижней к верхней границе снизу вверх увеличили диаметр пилот-скважины с 0,19 до 0,41 м.

В процессе движения инструмента снизу вверх поддерживали прямую циркуляцию очистного агента. При достижении верхней границы расширения на третьем этапе поменяли знак осевой нагрузки на противоположный, увеличили выход породоразрушающих органов расширителя до максимальных значений (с 0,11 до 0,16 м) и изменили характер циркуляции очистного агента в скважине на обратную промывку. Инструмент стали перемещать вниз под действием осевой нагрузки и расширили интервал от верхней к нижней границе с диаметра 0,41 до 0,5 м. В процессе перемещения расширителя поддерживали обратную циркуляцию очистного агента в скважине.

Применение предложенного способа расширения скважины позволило оборудовать водоприемную часть скважины эффективными конструкциями фильтров за счет равномерного расширения скважины до заданного диаметра в запланированном интервале. Равномерность расширения ствола скважины обеспечивалась повышением надежности работы расширителя посредством применения поэтапной технологии увеличения диаметра пи-

лот-скважины. За счет высокого качества очистки ствола скважины от шлама увеличились механическая скорость проходки и износостойкость породоразрушающих органов.

Автором разработан раздвижной гидравлический расширитель, позволяющий осуществлять поэтапное увеличение диаметра скважины до заданных пределов (рис. 4.48).

Расширитель имеет корпус 1 с внутренней полостью 2 и боковыми пазми 3 для размещения породоразрушающих органов 4, соединенных с корпусом 1 с возможностью поворота, подпружиненный полый шток 5, который взаимодействует с породоразрушающими органами 4. Внутри полого штока 5 установлена жестко связанная с бурильной колонной 6 труба 7, соединенная в верхней части с корпусом 1 и шпонкой 8 с возможностью осевого перемещения. Между трубой 7 и полым штоком 5 и между полым штоком 5 и корпусом расширителя 1 ниже боковых пазов 3 для размещения породоразрушающих органов 4 имеются рези-

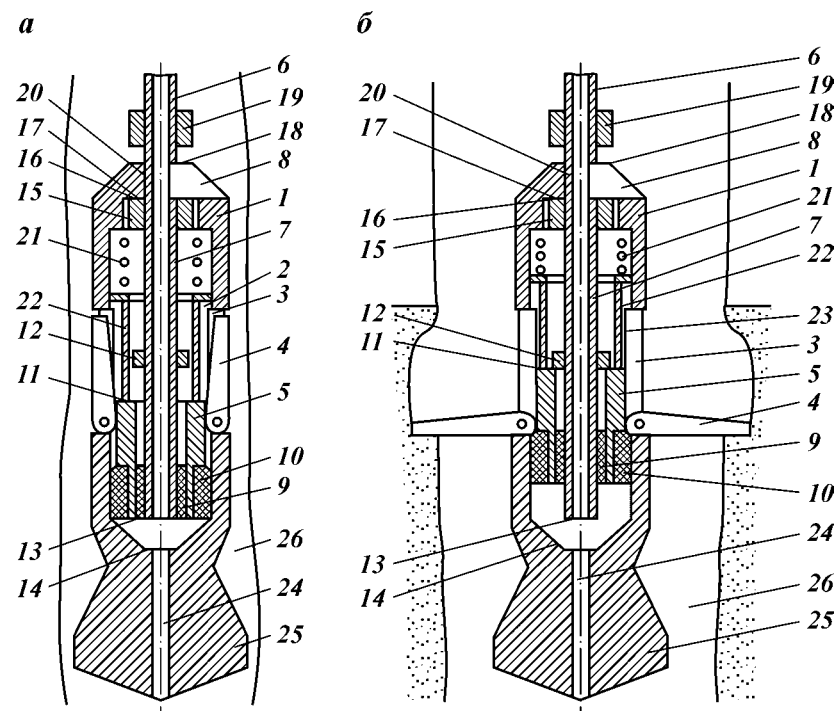


Рис. 4.48. Раздвижной гидравлический расширитель

новые уплотнения 9 и 10, жестко связанные с полым штоком 5. На трубе 7 выше верхнего 11 торца полого штока 5 на величину его максимального хода, соответствующего предельному выходу породоразрушающих органов 4, установлено упорное кольцо 12 с наружным диаметром, большим внутреннего диаметра полого штока 5.

Нижний торец 13 трубы 7 расположен от нижнего торца 14 внутренней полости 2 корпуса расширителя на высоте максимального хода полого штока 5. На трубе 7 установлено второе упорное кольцо 15, верхний торец 16 которого взаимодействует с верхним торцом 17 внутренней полости корпуса расширителя. На высоте 0,708 максимального хода полого штока 5 от верхнего 18 торца корпуса расширителя установлено третье опорное кольцо 19 с наружным диаметром, большим проходного отверстия 20 в корпусе расширителя.

При спуске в скважину породоразрушающие органы 4 находятся в закрытом положении из-за действия на них крутящего момента, обусловленного воздействием пружины 21 через цилиндрическую втулку 22 и полый шток 5 на породоразрушающие органы 4. Корпус 1 расширителя при спуске фиксируют у верхней границы интервала расширения 23 и осуществляют прямую промывку скважины. Промывочная жидкость из внутреннего канала буровых труб 6 поступает в трубу 7 и оттуда через промывочные каналы 24 поступает в кольцевое пространство скважины 26. При промывке увеличивается давление во внутренней полости корпуса расширителя 2 ниже уплотнений 9 и 10 и полого штока 5.

Под действием этого давления полый шток 5 поднимается относительно корпуса 1, взаимодействует с породоразрушающими органами 4, способствуя тем самым их раскрытию. На инструмент передают крутящий момент без осевой нагрузки. Породоразрушающие органы 4 постепенно забуриваются у верхней границы интервала расширения 23. Постепенно выход породоразрушающих органов 4 становится максимальным, а верхний 11 торец полого штока 5 упирается в кольцо 12. После забурки на инструмент передают осевую нагрузку, буровая колонна 6 и труба 7 опускаются по отношению к корпусу 1 расширителя на величину 0,708 от максимального хода полого штока 5, ограниченную расстоянием между нижним торцом третьего упорного кольца 19 и верхним торцом 18 корпуса 1 расширителя.

Породоразрушающие органы 4 расширителя частично убираются, и их выход уменьшается до 0,708 от максимальных значений. Расширитель опускают сверху вниз и увеличивают диаметр

пилот-скважины до промежуточного диаметра. При достижении расширителем нижней границы интервала 26 меняют знак осевой нагрузки на противоположный, т.е. поднимают расширитель из скважины. При поднятии бурильной колонны 6 и трубы 7 с упорным кольцом 12 относительно корпуса 1 ход полого штока 5 увеличивается до максимальных значений и породоразрушающие органы 4 выдвигаются с максимальным выходом. Расширитель подают от нижней границы интервала до верхней снизу вверх при передаче на инструмент осевой нагрузки, направленной к устью скважины, крутящего момента и промывке скважины.

Скважину при этом расширяют с промежуточного диаметра до расчетного. При достижении расширителем верхней границы интервала 23 прекращают передачу крутящего момента на инструмент и подачу промывочной жидкости. Под действием закрывающего крутящего момента на породоразрушающие органы 4, обусловленного воздействием на них пружины 21 через цилиндрическую втулку 22 и полый шток 5, они закрываются, расширитель приводится в транспортное положение и извлекается из скважины. Выход породоразрушающих органов на промежуточной стадии расширения выбирается с учетом одинаковой нагрузки на лопасти при расширении пилот-скважины до промежуточного диаметра и при расширении скважины с промежуточного диаметра до расчетного.

Итак, применение предложенного расширителя позволяет поэтапно расширять скважину с диаметра пилот-ствола от промежуточного до расчетного диаметра. Поэтапное расширение позволяет уменьшить нагрузки на породоразрушающий инструмент, что особенно важно при расширении скважин до больших диаметров под гравийную обсыпку в продуктивных пластах, сложенных песками различного гранулометрического состава с включением валунов и крепких пропластков известняков, песчаников, алевролитов и т.д. Уменьшение нагрузок на породоразрушающие органы позволяет повысить их износостойкость, получить равномерный расчетный диаметр скважины в заданном интервале и оборудовать скважину высококачественными гравийными фильтрами.

Использование предлагаемой конструкции расширителя позволяет повысить надежность работы инструмента и качество расширенного ствола скважины, что, в свою очередь, обеспечивает возможность оборудования приемной части скважины высокоэффективными способами и средствами, способствует улучшению эксплуатационных характеристик скважины.

4.2. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВСКРЫТИЯ И РАСШИРЕНИЯ СКВАЖИНЫ

Рассмотренные ранее конструкции расширителей предусматривают обязательную работу в пробуренном стволе скважины. Это предопределяет следующие технологические операции после закрепления скважины до кровли продуктивного пласта обсадной колонной: спуск долота, разбуривание цементного стакана, кровли пласта, вскрытие продуктивного интервала, бурение под отстойник, извлечение долота, проведение дополнительных операций по поддержанию устойчивости стенок скважины, спуск расширителя, проведение расширения, подъем расширителя. Далее осуществляют операции по оборудованию скважины в интервале продуктивного пласта.

С целью сокращения трудоемкости процесса, за счет исключения операций по подъему долота и спуску расширителя, большей оперативности технологии автором был разработан инструмент, позволяющий проводить вскрытие пласта пилот-скважиной и ее последующее расширение в продуктивном интервале.

Инструмент выполнен в двух модификациях, которые отличаются механизмом выдвижения породоразрушающих лопастей расширителя после снятия осевой нагрузки и изменения направления перемещения снаряда. Первая модификация инструмента состоит из расширителя и долота, причем долото соединено с подвижным штоком расширителя (рис. 4.49, *а*).

Вторая модификация инструмента (рис. 4.49, *б*) предполагает жесткую связь долота с неподвижным корпусом расширителя.

Применение предложенного инструмента позволило упростить процессы вскрытия и освоения продуктивного пласта, исключаящее предварительное бурение пилот-скважины и последующие спуско-подъемные операции, соответственно и возникновение резкой депрессии на продуктивный пласт. В отличие от известных расширителей раскрытие рабочих лопастей происходит в строго фиксированный момент. Конструкция инструмента позволяет формировать каверны снизу вверх, что увеличивает безопасность вскрытия пласта, так как при росте вертикальной нагрузки на лопасти они убираются в корпус расширителя, а затем (при уменьшении нагрузки) принимают рабочее положение. Очистка забоя улучшается при прямой промывке за счет того, что инструмент перемещается при расширении снизу вверх.

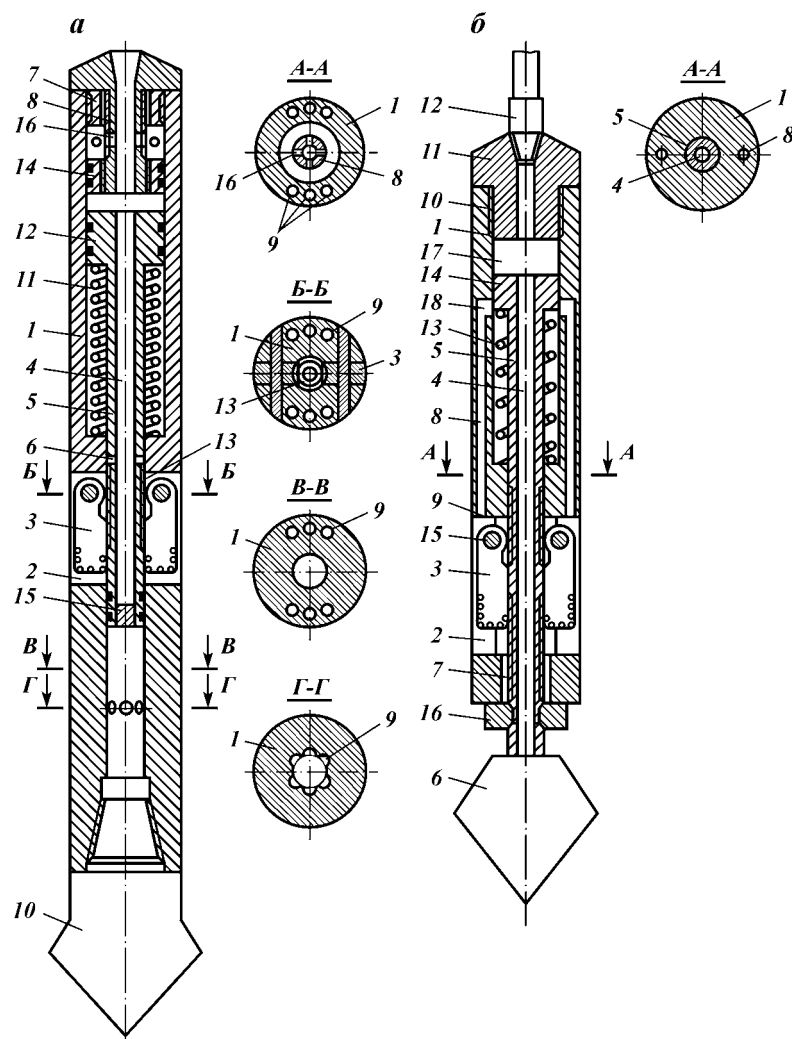


Рис. 4.49. Инструмент для вскрытия пласта и расширения:

а – первая модификация; 1 – корпус; 2 – боковые пазы; 3 – породоразрушающие органы; 4 – центральный канал; 5 – шток; 6 – насадка; 7 – шлицевой фланец; 8 – патрубок; 9 – каналы; 10 – буровое долото; 11 – пружина; 12 – поршень; 13 – зубчатая рейка; 14 – сальник патрубка; 15 – сальник штока; 16 – боковые отверстия; *б* – вторая модификация; 1 – корпус; 2 – боковые пазы; 3 – породоразрушающие органы; 4 – центральное отверстие; 5 – шток; 6 – буровое долото; 7 – шлицевое соединение; 8 – промывочные каналы; 9 – нижний выход каналов; 10 – резьбовое соединение; 11 – переходник; 12 – бурильные трубы; 13 – пружина; 14 – поршень; 15 – зубчатая рейка; 16 – упорное кольцо; 17 – надпоршневое пространство; 18 – приемная часть

4.3. ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН ПРИ РАСШИРЕНИИ

В процессе расширения в скважине формируется каверна диаметром, превышающим диаметр пилот-ствола. Обычно мощность насосного оборудования не позволяет создать в стволе диаметром 400 мм и более скорости восходящего потока, необходимые для выноса шлама или частиц песка. Поэтому при расширении формируемая каверна почти не очищается от выбуренной породы, что приводит к ее обрушению в интервал отстойника и нижние сечения фильтра. После формирования расширения в верхней части продуктивного интервала дальнейшее расширение или углубление ствола под отстойник существенно осложняется.

Существующие традиционные схемы расширения предусматривают разрушение кольцевого забоя от верхней границы продуктивного интервала и нижней при прямой циркуляции промывочной жидкости. При таком сочетании направлений перемещения инструмента и движения потока промывочной жидкости шлам должен выноситься через расширенную каверну. Характерно, что при условии поддержания требуемых скоростей восходящего потока в расширенной зоне с увеличением начального диаметра ствола в два раза расход промывочной жидкости нужно увеличивать примерно на порядок. Поддерживать заданные режимы промывки при расширении можно за счет увеличения мощности насосного оборудования. Однако такой путь неэкономичен вследствие использования высокопроизводительного насосного оборудования на ограниченных режимах в течение основного времени бурения скважин.

Автором предложена технология, обеспечивающая качественную очистку ствола от шлама при расширении. Суть технологии сводится к тому, что направление перемещения расширителя при работе должно совпадать с направлением движения потока очистного агента в кольцевом пространстве скважины. При прямой промывке расширитель необходимо перемещать, разрушая забой от нижней к верхней границе продуктивного интервала, а при обратной циркуляции – наоборот (рис. 4.50).

В скважину 1 спускают расширитель 2 с раздвижными породоразрушающими органами 3. Скважину 1 промывают при обратной или прямой циркуляции, в зависимости от типа применяемого насосного и устьевого оборудования, типа расширителя 2 и др. При обратной промывке или продувке скважины 1 расширитель 2 фиксируют у верхней границы интервала расширения 4, которая обычно совпадает с кровлей продуктивного пласта. Расширитель 2 забуривают, после чего инструмент подают в

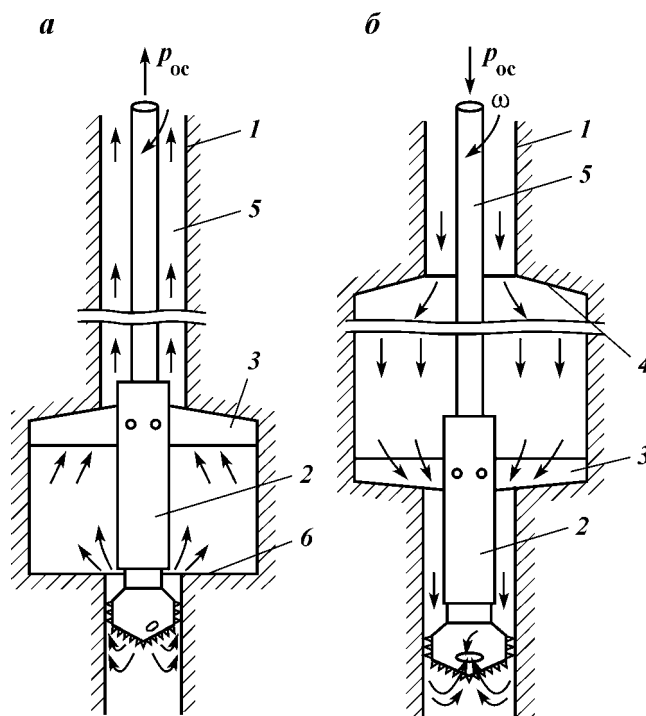


Рис. 4.50. Расширение скважины при прямой (а) и обратной (б) промывке

направлении, совпадающим с направлением движения очистного агента в кольцевом пространстве 5 скважины 1.

При прямой промывке или продувке скважины 1 расширитель 2 фиксируют у нижней границы интервала расширения 6, которая обычно совпадает с подошвой продуктивного пласта. Осуществляют забурку расширителя 2, после чего инструмент подают к устью скважины 1, т.е. в направлении, совпадающем с движением очистного агента в кольцевом пространстве 5 скважины 1.

Способ может осуществляться также следующим образом. В скважину спускают расширитель с раздвижными породоразрушающими органами. Исходя из конструктивных особенностей расширителя, предполагающих фиксацию лопастей породоразрушающих органов в рабочем положении либо при подаче инструмента к устью скважины, либо от него, выбирают способ промывки или продувки скважины.

При данной конструкции расширителя, предполагающей фиксацию лопастей породоразрушающих органов в рабочем положении при подаче инструмента от устья, расширитель закрепляют у верхней границы интервала расширения. Скважину промывают или продувают при обратной циркуляции очистного агента. Забуривают расширитель, после чего при подаче инструмента от устья скважину расширяют в заданном интервале. В процессе расширения в скважине поддерживают обратную циркуляцию, при которой направление движения очистного агента в кольцевом пространстве 5 совпадает с направлением подачи инструмента.

Применение способа на практике показало его эффективность почти для всех условий проведения работ. Принцип выбора направлений перемещения инструмента в сочетании с технологией промывки лег в основу технико-технологических требований на разработку новых конструкций расширителей.

В некоторых случаях (например, при наличии в продуктивном интервале плотных пород, для разбуривания которых необходимо приложить определенную осевую нагрузку) целесообразно применение раздвижных расширителей, предназначенных для увеличения диаметра скважины от верхней к нижней границе продуктивного интервала. Для обеспечения очистки ствола скважины в этом случае целесообразно обеспечить в разрабатываемой каверне нисходящий поток промывочной жидкости. Обычно нисходящий поток в кольцевом пространстве скважины поддерживается при обратной циркуляции. Для создания обратной циркуляции необходимо иметь соответствующее устьевое, промывочное и другое оборудование, которое серийно не выпускается. Поэтому создание обратной циркуляции, особенно в глубоких скважинах, представляет собой довольно сложную техническую задачу.

Автором совместно с С.Б. Втюриным предложено использовать при расширении комбинированную схему промывки. Комбинированная промывка заключается в том, что из бурильных труб промывочная жидкость через специальный распределитель, установленный выше интервала расширения, поступает в кольцевое пространство, где движется в нисходящем потоке. Вынос шлама в предложенной схеме не происходит через интервал расширения, что в значительной степени повышает эффективность очистки забоя и предотвращает кольматацию пласта. Промывочная жидкость (рис. 4.51) увлекает за собой частицы шлама с забоя нисходящим потоком в пилот-скважину ниже интервала расширения, а затем через специальный наконечник и промывочную трубу в восходящем потоке поднимается до пропускных

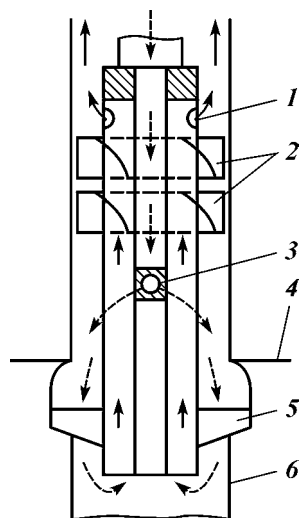
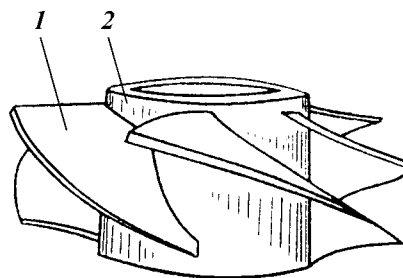


Рис. 4.51. Схема комбинированной циркуляции жидкости при расширении водоносного горизонта:

1 – отверстия для восходящего потока жидкости; 2 – турбулизаторы; 3 – отверстия для нисходящего потока жидкости; 4 – верхняя граница интервала расширения пласта; 5 – раздвижные породоразрушающие лопасти; 6 – скважина

Рис. 4.52. Турбулизатор:

1 – лопасть; 2 – корпус



отверстий в промывочной трубе и далее по кольцевому зазору скважины к устью, где попадает в отстойник. Для обеспечения нисходящего направления движения промывочной жидкости на выходе из распределителя выше него в кольцевом пространстве скважины устанавливаются турбулизаторы, которые при вращении колонны создают дополнительный подпор и способствуют движению большей части выходящего из распределителя потока вниз. Создание подпора на поток осуществляется вращением лопаток турбулизатора, которые будут выполнять роль гидродинамического пакера, поставленного выше зоны расширения наподобие винтового насоса.

Турбулизатор (рис. 4.52) имеет четыре лопасти, которые привариваются к корпусу под углом на входе к лопатке 90° и на выходе 45° к горизонтальной оси. Значения выходных углов обусловлены тем, что при углах $\beta < 90^\circ$ (лопатки загнуты назад) имеет место максимальный статический напор, играющий главную роль при транспортировке жидкости. Если $\beta < 90^\circ$, при этом условии наблюдается устойчивая работа машины при любых режимах работы и $\text{ctg } \beta > 0$. Толщину лопаток турбулизатора выбирали конструктивно не менее 4 мм.

Исходя из динамических свойств струи, действующей на лопатку, определяем силу, с которой лопатка турбулизатора действует на восходящий поток промывочной жидкости. Схема сил, действующих на лопатку турбулизатора, показана на рис. 4.53.

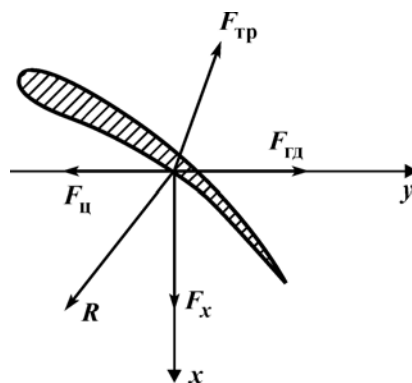


Рис. 4.53. Силы, действующие на лопатку турбулизатора

На лопатку действуют следующие силы: $F_{гд}$ – гидродинамическая сила (сила набегающей струи); $F_{ц}$ – центробежная сила; $F_{тр}$ – сила трения жидкости о стенку лопасти; R – сила реакции лопасти; F_x – искомая сила противодействия восходящему потоку.

Сумма всех сил на ось x $F_{гд} - F_{ц} - R \cos \alpha = 0$, откуда

$$R = (F_{гд} - F_{ц}) / \cos \alpha. \quad (4.44)$$

Сумма всех сил на ось $F_{тр} - F_x - R \cos \alpha = 0$, откуда

$$R = (F_{тр} - F_x) / \cos \alpha. \quad (4.45)$$

Приравнявая уравнения (4.44) и (4.45), получаем

$$F_x = F_{тр} + F_{ц} - F_{гд}. \quad (4.46)$$

Если пренебречь $F_{тр}$ как малой величиной, то $F_x = F_{ц} - F_{гд}$. Оценим ориентировочно получаемый результат, если

$$F_{гд} = \rho S v^2,$$

где ρ – плотность жидкости; S – сечение струи; v – скорость восходящего потока;

$$F_{ц} = m \omega r,$$

где m – масса набегающей жидкости; ω – угловая скорость вращения; r – расстояние от оси вращения до кромки лопасти,

$$m = \rho S v, \quad \omega = \pi n / 30; \quad S = 2\pi r b \varphi;$$

φ – коэффициент стеснения сечения лопастью; b – ширина лопасти, м;

$$\varphi = \frac{2\pi r b - z b f}{2\pi r b};$$

z – число лопастей ($z = 4$); f – толщина лопастей, м.

Для практической оценки целесообразности применения схемы комбинированной промывки при расширении важно оценить возможные реальные значения силы гидродинамического подпора, развиваемой турбулизаторами.

Коэффициент стеснения потока лопастью турбулизатора $\phi = 0,95$ при $r = 0,055$; $b = 0,078$ и $f = 0,004$.

Центробежная сила при $S = 0,026 \text{ м}^2$, $m = 17,16 \text{ кг}$ и $\omega = 10,5 \text{ м/с}$ $F_{\text{ц}} = 17,6 \cdot 10,5^2 \cdot 0,055 = 104,1 \text{ кг} = 1,04 \text{ кН}$.

Гидродинамическая сила $F_{\text{гд}} = 120 \text{ Н}$ при диаметре скважины $D_{\text{с}} = 0,243 \text{ м}$ и диаметре труб $d = 0,146 \text{ м}$. Подставляя значения $F_{\text{ц}}$ и $F_{\text{гд}}$ в уравнение (4.46), получаем $F_x = 104 + 12 = 920 \text{ Н}$. Давление, развиваемое турбулизатором, на основании значений силы гидродинамического подпора, $p_{\text{т}} = F_x/S$. Подставим значения F_x , D и d , тогда $p_{\text{т}} = 368/0,12 = 3066 \text{ Па}$. С учетом того, что турбулизатор имеет четыре лопасти, реальное давление, развиваемое турбулизатором, $p_{\text{т}} = 4 \times 3066 = 12\,267 \text{ Па}$.

Итак, давление, развиваемое одним турбулизатором и создающим противодействие на восходящую часть потока промывочной жидкости, $p_{\text{т}} = 0,012 \text{ МПа}$.

С целью повышения КПД инструмента необходимо максимально уменьшить расход восходящего потока выше распределительного узла $Q_{\text{п}}$, а расход нисходящего потока $Q_{\text{к}}$ увеличить. При этом должны выполняться следующие условия:

$$\begin{cases} p_{\text{к}} = a Q_{\text{к}}^2 \\ p_{\text{п}} = b Q_{\text{п}}^2; \quad Q_{\text{п}} + Q_{\text{к}} = Q; \end{cases}$$

$$\begin{cases} Q_{\text{к}} \rightarrow Q \\ Q_{\text{п}} \rightarrow 0; \quad Q_{\text{к}}/Q_{\text{п}} = \sqrt{(b p_{\text{к}})/a p_{\text{п}}}, \end{cases}$$

где $p_{\text{к}}$, $Q_{\text{к}}$, a – соответственно потери напора, расход и коэффициент сопротивления на участке комбинированной циркуляции; $p_{\text{п}}$, $Q_{\text{п}}$, b – то же, но на участке прямой циркуляции; Q – подача насоса.

Расход промывочной жидкости, распределяющийся от распределительного узла по двум направлениям, будет делиться в соотношениях, пропорциональных гидравлическому сопротивлению по данной траектории. Расчеты показывают, что потери напора на участке комбинированной циркуляции при расширенном интервале составляют от 0,03 до 0,1 МПа. Поэтому увеличивать давление турбулизаторов больше, чем потери напора на участке комбинированной циркуляции, нет смысла.

Для равномерного распределения потока на две части достаточно установить от трех до десяти турбулизаторов выше распределительного узла. Если установить около 5–20 турбулизаторов, то около 2/3–3/4 потока можно направить по схеме комбинированной циркуляции. Сравнительный анализ показывает, что схема комбинированной циркуляции целесообразна в использовании типовых конструкций скважин даже в случае, когда в интервале расширения около 22–25 % общего расхода движется в нисходящем потоке, а остальные 75–78 % – по схеме прямой промывки. В этом случае в центральной водоподъемной трубе устанавливаются (при комбинированной промывке) скорости восходящего потока большие, чем при традиционной прямой циркуляции в процессе расширения скважины до 0,5 м и более.

Автором была предложена технология расширения скважин в рыхлых породах. Скорости расширения при переходе в слабоцементированные породы возрастают, что приводит к резкому увеличению объема шлама, поступающего в очистной агент, и концентрации смеси, транспортируемой к устью скважины. При определенных концентрациях смеси, больших критических значений, в процессе расширения наблюдается пробко- и сальникообразование, приводящее к резкому снижению надежности работы инструмента (прихват инструмента, обрыв труб). Кроме того, при сальнико- и пробкообразовании резко увеличиваются репрессия на продуктивный пласт, объем поглощаемой промывочной жидкости.

Предложенная технология сводится к следующему. Определяют критическую концентрацию шлама в очистном агенте, применяемом для вскрытия продуктивного пласта и расширения ствола скважины в заданном интервале. Под критической понимают такую концентрацию шлама, при которой не наблюдается пробко- и сальникообразование в скважине. Экспериментальные исследования на специальном стенде и скважине позволили определить критические концентрации удельного веса 2200–2800 кг/м³ (что соответствует типовым песчаным продуктивным пластам) для различных очистных агентов. Результаты экспериментов представлены ниже.

Вязкость очистного агента (по СПВ-5), с	15	20	25	30	35	40	50
Максимально допустимая объемная концентрация шлама $C_{кр}$, доли единиц	0,2	0,27	0,34	0,4	0,46	0,52	0,6

Допустимую концентрацию шлама в очистном агенте поддерживают либо регулированием расхода очистного агента, либо изменением осевой нагрузки и частоты вращения, либо их одно-

временным регулированием в различном сочетании. Наиболее простым путем допустимую концентрацию шлама в очистном агенте поддерживают увеличением расхода очистного агента при промывке скважины с расходом

$$Q_{\text{кр}} = \frac{0,785(D_p^2 - D_c^2)v}{C_{\text{кр}}},$$

где D_p – расчетный диаметр расширения; D_c – диаметр пилот-скважины; v – механическая скорость бурения.

Однако мощность насосного оборудования не всегда позволяет увеличить расход очистного агента в процессе расширения до $Q_{\text{кр}}$. Особенно это характерно для скважин, расширяемых до больших диаметров.

Другим путем, позволяющим уменьшить концентрацию шлама в очистном агенте до допустимых значений, считается снижение механической скорости расширения. Максимально допустимая скорость углубки расширителя при фиксированном расходе

$$v_{\text{кр}} = \frac{C_{\text{кр}}Q}{0,785(D_p^2 - D_c^2)},$$

где Q – расход очистного агента.

Механическая скорость расширения – функция осевой нагрузки на инструмент и частоты его вращения:

$$v = \omega(P_{\text{ос}}/S)^n,$$

где ω – частота вращения инструмента; $P_{\text{ос}}$ – осевая нагрузка на инструмент; S – площадь забоя; n – показатель степени ($n = 2 \div 3$).

Допустимую концентрацию шлама в очистном агенте при резком возрастании механической скорости проходки, обусловленном встречей слабосцементированных, мягких пород, поддерживают путем регулирования осевой нагрузки на инструмент и частоты его вращения, при которых механическая скорость проходки не превышает $v_{\text{кр}}$.

Ограничение механической скорости проходки при расширении интервала слабосцементированных пород экономически целесообразно при часто ограниченной мощности насосного оборудования и нерентабельности установки более мощных насосов только на период расширения скважины; малой доли затрат на расширение в общем балансе на сооружение скважины; высоких значениях $v_{\text{кр}}$.

Механическую скорость проходки расширителя можно поддерживать в допустимых пределах изменением осевой нагрузки на инструмент или частоты его вращения, а также совместным регулированием частоты вращения и осевой нагрузки на инструмент. Постоянный контроль за скоростью углубки при расширении и фиксированном расходе промывочной жидкости позволяет предотвратить пробко- и сальникообразование, прихваты и за-тяжки инструмента, уменьшить поглощение и кольматацию пласта.