

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

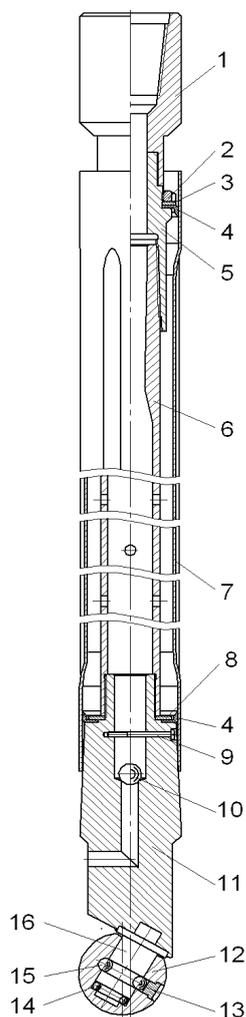
При капитальном ремонте скважин самым трудоемким видом работ считается восстановление работоспособности обсадных колонн различного назначения. Такой ремонт производится путем извлечения и замены труб или способами, когда в скважину заливается цементный раствор, образующий так называемый «мост». Часто спускается и цементируется дополнительная колонна обсадных труб меньшего диаметра. Однако эти способы требуют прекращения работы скважины на длительный период, они трудоемки и дорогие. Более эффективным является способ установки в дефектных местах металлических пластырей.

Пластырь – это многоручьевая продольно-гофрированная металлическая труба, изготовленная в заводских условиях на специальном оборудовании из круглых тонкостенных труб. Пластырь опускается в скважину на насосно-компрессорных или бурильных трубах, и устанавливается в зоне дефекта колонны. Плотнo прижимаясь к внутренней поверхности обсадной трубы, пластырь изолирует затрубное пространство от ствола скважины. Такой пластырь используется только в скважинах большого диаметра, т.к. конструкция устройства для установки пластыря очень сложная и громоздкая. Для продольного перемещения разверток применяются сложные и дорогие погружные гидравлические домкраты. Конструкция пластыря сложная и требует для его изготовления специального оборудования. Кроме того, нет полного теоретического обоснования для выбора параметров пластыря и технологии закрепления пластыря в обсадных трубах малого диаметра.

С целью усовершенствования технологии установки металлических пластырей в скважинах малого диаметра, на кафедре ТГПР разработано устройство (УУП-1) для установки пластыря в скважине, а также методика расчета рабочих и технологических параметров пластырей (рис. 1).

Конструкция устройства простая и позволяет изготовить его в мастерских геологоразведочных экспедиций. Устройство можно использовать в скважине диаметром от 73 мм и глубиной до 1000 м.

Технология установки пластыря следующая. После определения места не герметичности устройством ПУОД-1 в обсадной колонне выполняется очистка внутренней поверхности обсадной колонны в интервале нарушения колонны металлическими ершами,

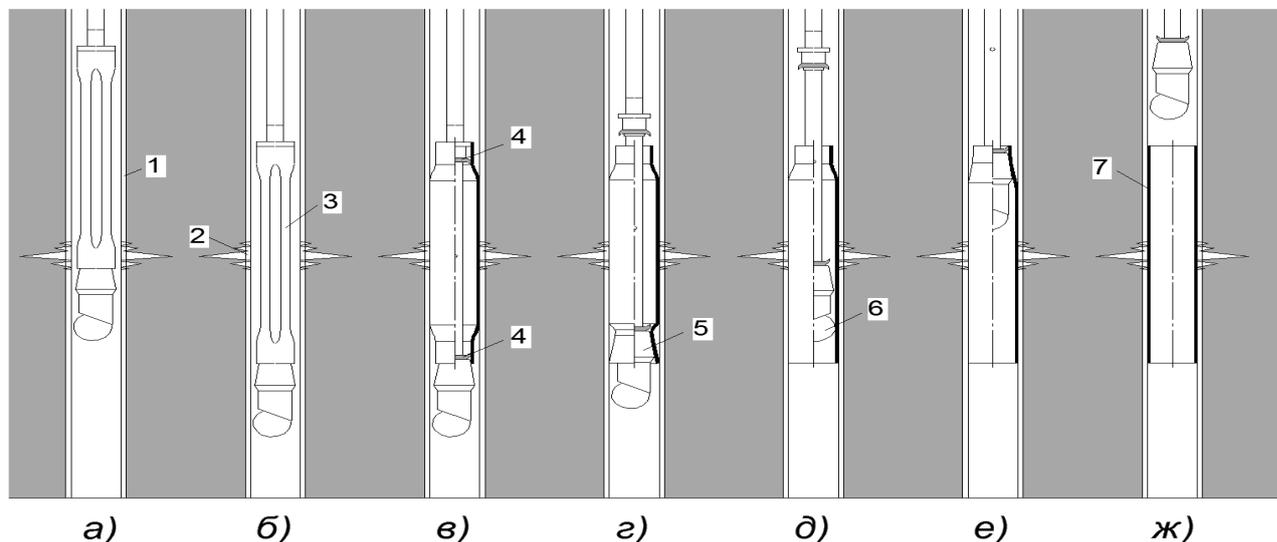


**Рис. 1.** Устройство установки пластырей в скважине УУП-1:

- 1 – переходник; 2 – гайка; 3,8 – шайбы;
- 4 – манжета уплотнительная; 5 – муфта;
- 6 – корпус; 7 – пластырь; 9 – ограничитель клапана; 10 – обратный клапан; 11 – конус-расширитель; 12 – шар-калибратор;
- 13 – заглушка; 14, 15 – шарики опоры;
- 16 – опора

спускаемыми на бурильных трубах. На устье скважины подготавливается устройство установки пластыря УУП-1. Проводится визуальный осмотр деталей, инструмента, принадлежностей. В устройстве закрепляется пластырь, и по наружной поверхности обрабатывается герметизирующе-склеивающим составом – «Клей эпоксидный П», содержащим – эпоксидную смолу Э-41 и диациндиамид.

На бурильных трубах, устройство УУП-1 спускается к месту деформации обсадной колонны (рис.2 а,б).



**Рис. 2.** Последовательность установки пластыря в обсадной колонне

1 — обсадная колонна; 2 — зона повреждения; 3 — УРС-1; 4 — уплотнительные манжеты; 5 — конус расширитель; 6 — шар калибратор; 7 — пластырь

Под действием давления жидкости, создаваемого буровым насосом, установленным на поверхности, клапан 10 (см. рис. 1) закрывается и пластырь 3 (рис. 2 в) под действием нагнетаемой жидкости начинает деформироваться, расширяясь до упора в стенку обсадной трубы 1.

При достижении значения рабочего давления пластырь 3 принимает форму внутренней части обсадной колонны. Нагнетание жидкости продолжается до достижения расчётного значения, которое гарантирует прижатие пластыря с конечным контактным давлением 3МПа.

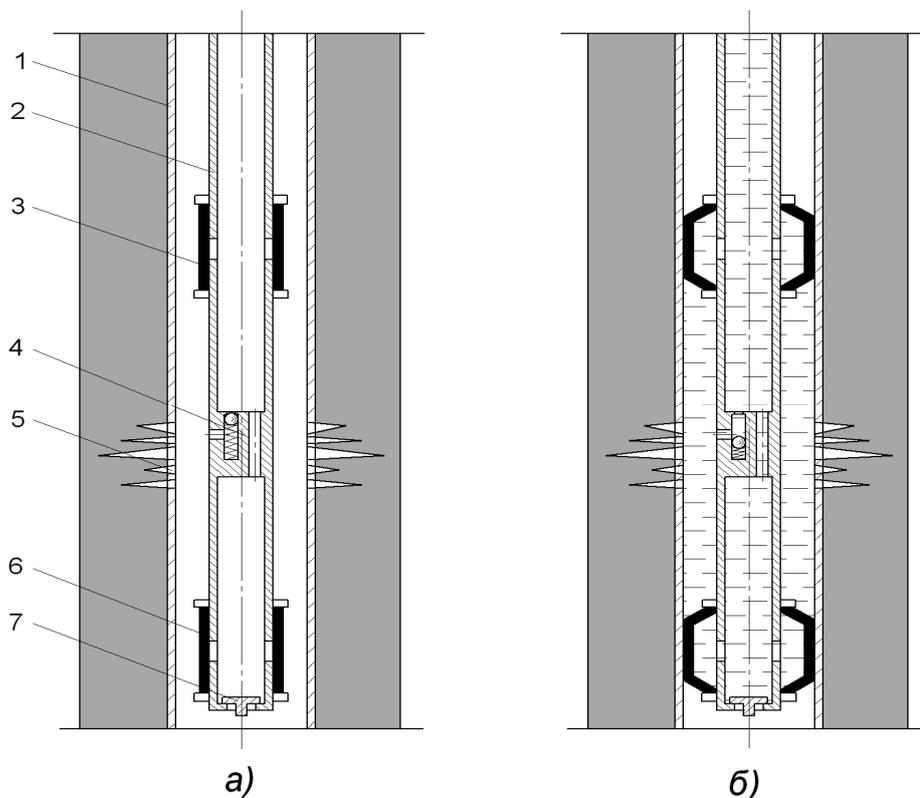
Цилиндрические участки пластыря 3 расширяются при перемещении снаряда вверх без вращения конусом-расширителем 5 (рис. 2 г).

Далее дается вращение буровому снаряду (рис. 2 д) и осуществляется медленный подъем. При вращении устройства, шаром-калибратором 6 закреплённым на опоре, цилиндрические участки пластыря развальцовываются, это позволяет выправить и прикатать участки пластыря недовыпрямленные давлением жидкости. Устройство УУП-1 поднимается на поверхность (рис. 2 ж).

Место не герметичности в обсадных трубах перед установкой пластыря можно определить предлагаемым устройством для определения дефектов (ПУОД-1).

ПУОД-1 состоит из двух гидравлических пакеров, соединенных между собой трубой длиной 9–10 м. Длина труб подбирается в зависимости от величины предполагаемого дефектного интервала. На нижнем пакере установлен шаровой клапан который открывается при спуске устройства в скважину с целью обеспечения заполнения внутреннего пространства пакеров жидкостью. В процессе работы клапан закрывается. Между пакерами установлен подпружиненный клапан, пружина которого рассчитана на работу при давлении, превышающем давление раскрытия клапана.

Пакеры 3 и 6 устройства ПУОД-1 на бурильных трубах 2 спускают на глубину, примерно равную половине глубины скважины (рис.3).



**Рис. 3.** Схема определения утечек в обсадных трубах:

а) – в период спуска в скважину; б) – при определении места не герметичности обсадной колонны;  
 1 – обсадная колонна; 2 – бурильные трубы; 3, 6 – соответственно верхний и нижний резиноканевые уплотнительные элементы; 4 – клапан; 5 – место не герметичности обсадной колонны;  
 7 – обратный клапан

В процессе спуска обратный клапан 7 открывается, пропуская жидкость, находящуюся в скважине внутрь устройства, что позволяет избежать проявления поршневого эффекта.

Наземным буровым насосом под давлением закачивают в трубы 2 жидкость. При перепаде внутреннего давления в трубах, равном 1,5–2,0 МПа, элементы 3 и 6 уплотняются, перекрывая затрубное пространство.

При повышении давления свыше 2 МПа, срабатывает клапан 4, пропуская жидкость в пространство между пакерами. При этом резиноканевые элементы пакеров остаются открытыми.

Если эксплуатационная колонна между уплотнительными элементами 3 и 6 герметична, то давление должно увеличиться до 2,5 МПа. Если давление падает или остается постоянным, то это указывает на не герметичность данного интервала.

Перемещая уплотнительные элементы по скважине, можно установить место утечки.

Герметичность в интервале от устья до уплотнительного элемента 3 можно установить путем закачивания жидкости в затрубное пространство. Если утечек нет, то уровень жидкости в затрубном пространстве будет постоянным. Методом последовательного исключения герметичных интервалов эксплуатационной колонны при осевых перемещениях колонны бурильных труб вниз или вверх определяют место не герметичности колонны.

Точное место дефекта в колонне будет найдено после исключения герметичной части всего этого интервала, кроме участка, длина которого равна длине рабочей части уплотнительного элемента, где колонна герметична.

Число осевых перемещений труб в скважине определяем по формуле:

$$n = \frac{\ln \frac{l}{l_0}}{\ln 2},$$

где  $l$  – расстояние между уплотнительными элементами, м;  $l_0$  – длина уплотнительного элемента, м.

Деформацию (расширение) металлического пластыря предполагается производить давлением жидкости, создаваемым насосом на поверхности или специальными пакерами с резинометаллическими элементами. Под усилием внутреннего давления пластырь расширяется до упора в стенку обсадной колонны. При этом уменьшается толщина стенки пластыря и увеличивается его внутренний диаметр.

Поэтому материал пластыря должен быть прочным (выдерживать значительное внутреннее давление), достаточно пластичным и не иметь остаточных деформаций. Такими свойствами обладают медь и латунь. Но, учитывая значительные размеры, пластырь из этих материалов будет иметь высокую стоимость.

В связи с этим в качестве исходного материала для изготовления пластыря, предлагается использовать более дешевые трубы, стальные бесшовные горячедеформированные ГОСТ 8732-78.

В основу методики расчета рабочих и технологических параметров пластыря положено, что при расширении пластыря в процессе его установки в обсадной трубе стенки его становятся тоньше и в сечении образуется так называемая шейка, которая предшествует разрушению металла.

Известно, что сопротивление металла пластыря деформации является реологической характеристикой, которая рассматривает внутренние изменения в металле, определяющие связь напряжения со степенью и скоростью деформации. Знание сопротивления деформации пластыря необходимо для определения энергосиловых параметров устройств для расширения пластыря на прочность. Кроме того, сопротивления деформации можно использовать и для оценки свойств металла, получаемых после пластической деформации. Большое число определяющих параметров, а также сложность их совместного влияния являются основной трудностью на пути создания аналитических выражений для определения сопротивления деформации материала пластыря.

Поэтому, учитывая сложность описания процессов поведения материала пластыря и среды, на которую опирается пластырь, принимаем условно, что металл пластыря разрушится, если размер шейки в сечении составит от 60 до 80% исходной площади в зависимости от свойств материала.

Уравнение для определения площади поперечного сечения шейки в момент разрыва можно определить с учетом условной деформации металла, т. е. такой деформации, которая обеспечивает соответствующее упрочнение металла при отсутствии разупрочнения. Однако при этом механические характеристики - относительное удлинение и сужение, ударная вязкость могут быть определены лишь на основании эмпирических зависимостей, для построения которых необходим большой экспериментальный материал. Примерно аналогичные, но более простым способом результаты можно получить, если вместо линейных величин принять значения площади сечения. Площадь сечения пластыря  $F_n$  до расширения (начальная) определяется из выражения:

$$F_n = \frac{\pi \cdot (D_n^2 - d_n^2)}{4},$$

где  $D_n$  – наружный диаметр пластыря;  $d_n$  – внутренний диаметр пластыря.

Предельное значение конечной площади сечения пластыря при деформации, принимается:

$$F_k = 0.8 \cdot F_n$$

Преобразуя эти формулы, определяем конечный внутренний диаметр пластыря с учётом того, что при расширении диаметр пластыря станет равным диаметру скважины или внутреннему диаметру обсадной колонны:

$$d_k = \sqrt{D_k^2 - 0.8 \cdot (D_n^2 - d_n^2)},$$

где  $D_k$  – конечный наружный диаметр пластыря, равен диаметру скважины или внутреннему диаметру обсадной колонны.

Толщина стенки пластыря после деформации  $\Delta k$  составит:

$$\Delta k = \frac{D_{пк} - d_{пк}}{2}.$$

где  $D_{пк}$  – наружный диаметр пластыря после деформации;  $d_{пк}$  – внутренний диаметр пластыря после деформации.

Рабочее давление необходимое для расширения пластыря определяется из расчёта, что пластырь расширяется до упора в обсадную трубу.

Разрушение пластыря возникнет при превышении давления расширяющего пластырь выше предела прочности материала пластыря.

Таким образом, рабочее давление можно определить из выражения

$$P_p = \frac{\sigma_T}{2} \cdot \ln \left[ \frac{\left[ \left( \frac{D_n}{2} \right)^2 + 2 \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_n}{2} \right)^2 \right] \right]}{\left[ \left( \frac{d_n}{2} \right)^2 + 2 \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_n}{2} \right)^2 \right] \right]} \right],$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала пластыря,  $D_n$  – наружный диаметр пластыря;  $d_n$  – внутренний диаметр пластыря;  $D$  – наружный диаметр эксплуатационной колонны;  $d$  – внутренний диаметр эксплуатационной колонны.

При дальнейшем увеличении давления пластырь, будет деформироваться вместе с обсадной колонной, в которую он упрется после расширения. В связи с этим принимаем, что расширение обсадной колонны будет происходить до получения надёжного контакта между пластырем и внутренними стенками обсадной колонны.

Надёжный контакт между пластырем и внутренними стенками обсадной колонны после снятия внутреннего давления, т.е. после разгрузки должен составить не менее  $P_k = 3$  МПа.

С учётом этого необходимое расчётное давление  $P$  для надёжной установки пластыря составит:

$$P = P_p + 3 \cdot 10^6, \text{ Па}$$

Подставляя в выражение по определению  $P$  размеры пластыря и характеристику металла можно установить максимально необходимое рабочее давление, необходимое для раскрытия пластыря до без его разрушения.

Процесс образования шейки при достижении высоких напряжений завершается разрушением. Причем тело пластыря будет разрушаться по сечению не одновременно, а вследствие развития трещин.

В случае разрыва пластыря при его установке по внешнему виду трещин, возникших при разрушении металла пластыря можно оценить величину усилий прилагаемых для расширения пластыря.

Для хрупкого разрушения характерна острая, часто ветвящаяся трещина. Результатом хрупкого разрушения является блестящий светлый кристаллический излом с ручьистым

строением. Хрупкая трещина распространяется по нескольким параллельным плоскостям. Плоскость излома перпендикулярна нормальным напряжениям.

Вязкое разрушение – путем среза под действием касательных напряжений. Трещина тупая раскрывающаяся. Поверхность излома негладкая, рассеивает световые лучи, матовая (волоконистый) излом. Плоскость излома располагается под углом.

Таким образом, в процессе эксплуатации при возникновении разрыва пластыря, по характеру разрушения можно установить, не было ли чрезмерным давление и соответствовал ли материал пластыря поставленной задаче.

Максимальное давление, при котором происходит разрушение пластыря можно определить из выражения:

$$P_{\max} = \frac{(D_{\Pi}^2 - d_{\Pi}^2) \cdot \sigma_T}{2 \cdot D_{\Pi}^2}$$

При данном давлении пластырь теряет прочность и разрушается, в случае если не будет обеспечено ограничение расширения пластыря обсадной трубой.

Подставляя в выражение по определению  $P_{\max}$  размеры пластыря и характеристику металла из которого он изготовлен можно установить давление, при котором пластырь может разрушиться.

В табл. 1 приведены расчётные значения рабочего и разрушающего давления для пластырей с различной толщиной стенки, для установки в обсадной колонне.

**Табл. 1.** Расчётные значения рабочего и разрушающего давлений и конечных размеров пластыря после деформации

Внутренний диаметр стенки обсадной трубы, мм	Параметры пластыря				Давление	
	Наружный диаметр до деформации, мм	Внутренний диаметр до деформации, мм	Толщина стенки до деформации, мм	Толщина стенки после деформации, мм	Рабочее, МПа	Максимальное, МПа
136	126	119	3,5	2,5	9,401	11,778
	125		3	2,2	7,666	10,119
	123		2	1,4	4,891	6,91
117	112	104	4	3	13,376	14,878
	110		3	2,2	9,481	11,46
	108		2	1,5	5,991	7,852
98	93	85	4	3	15,645	17,781
	90		2,5	1,8	9,977	12,472
	89		2	1,4	6,874	9,49
79	76	68	4	3	20,356	21,54
	74		3	2,2	14,004	16,804
	72		2	1,4	8,622	11,667

Используя данные табл. 1 можно подобрать толщину стенки пластыря, которая обеспечит его плотное прилегание при деформации без механического разрушения.

На рис. 4 приведен один из графиков зависимости величины давления деформации от толщины пластыря, по которым можно установить рабочее и разрушающее давление в случае, если размеры пластыря отличаются от приведенных в табл. 1.

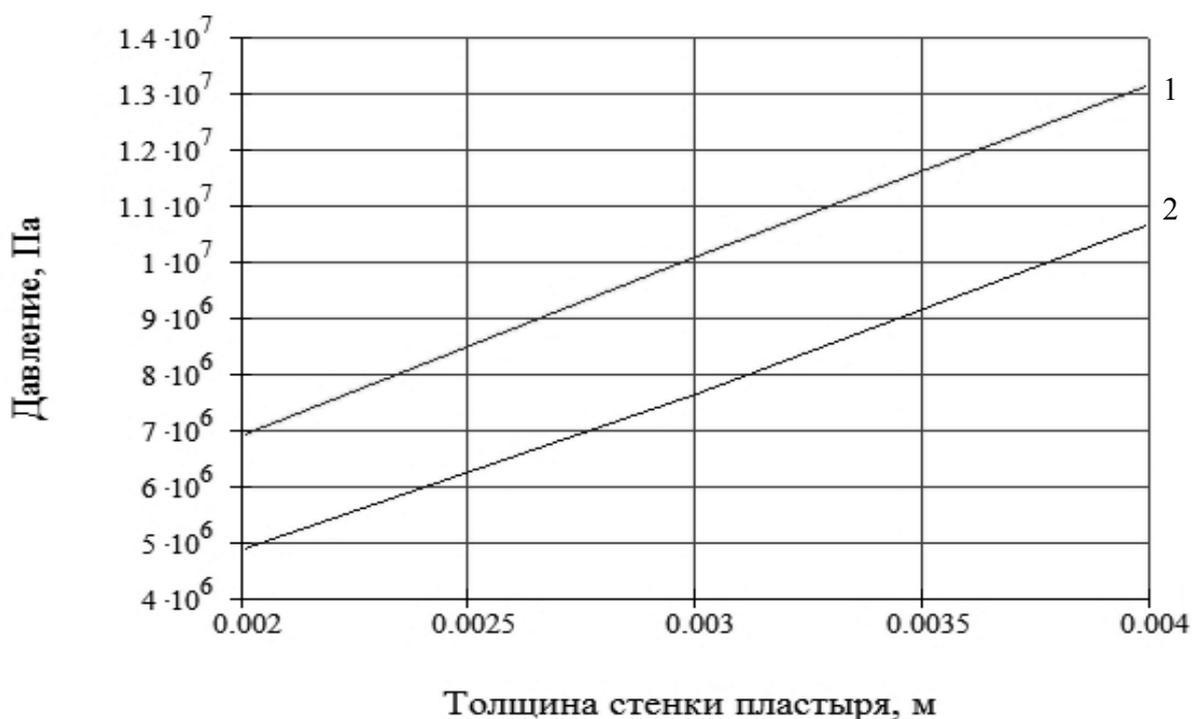
Приведённые графики позволяют, зная разрушающее давление, предупредить механический разрыв стенок пластыря определённой толщины и обеспечить его расширения при указанном рабочем давлении.

Расчёты показывают, что при правильном выборе соотношения между внутренним диаметром обсадной трубы и наружным диаметром пластыря, можно расширить пластырь до плотного прижатия к трубе при рабочем давлении в пластыре в пределах от 7 до 22 МПа.

Таким образом, работы по установке некоторых пластырей можно выполнить насосом НБ 320/100, а других насосом 9МГр. Однако целесообразно проводить работы с использованием цементировочных агрегатов, снабженных мощными насосами.

Если расчетное рабочее давление превышает возможности насоса можно несколько уменьшить толщину пластыря с учетом его прочности, т.е. разрушающего давления

В случае если на внешнюю поверхность пластыря будет наноситься состав эпоксидной смолы, для лучшей адгезии и герметизации пор, трещин и свищей склеивающим составом, то на наружной поверхности пластыря необходимо выполнить продольные канавки. Это позволит уменьшить наружный диаметр пластыря, соответственно увеличить зазор между пластырем и обсадной колонной, что защитит нанесённый состав от истирания при спуске пластыря в скважину.



**Рис. 4.** Зависимость рабочего и разрушающего давлений от толщины стенки пластыря.  
 Внутренний диаметр пластыря 119 мм, наружный 127, 125, 123 мм.  
 1 – разрушающее давление; 2 – рабочее давление

На рис. 5 показана расчётная схема для определения радиальных размеров канавок с учетом того, что общий периметр сектора  $P_c^{общ}$  равен двум периметрам малого сектора  $P_c$ , а длина периметра после выполнения канавок должна равняться длине наружной окружности пластыря после деформации с радиусом  $R_1$ .

Задаваясь необходимым зазором между пластырем и обсадной трубой, можно получить требуемую глубину канавки ( $h_k$ ).

Исходя из проведённых расчётов для получения заданных геометрических параметров пластыря, необходимо выполнить равномерно по периметру  $N$  канавок глубиной  $h_k$ :

$$h_k = \frac{1.5 \cdot (R - a)}{N}.$$

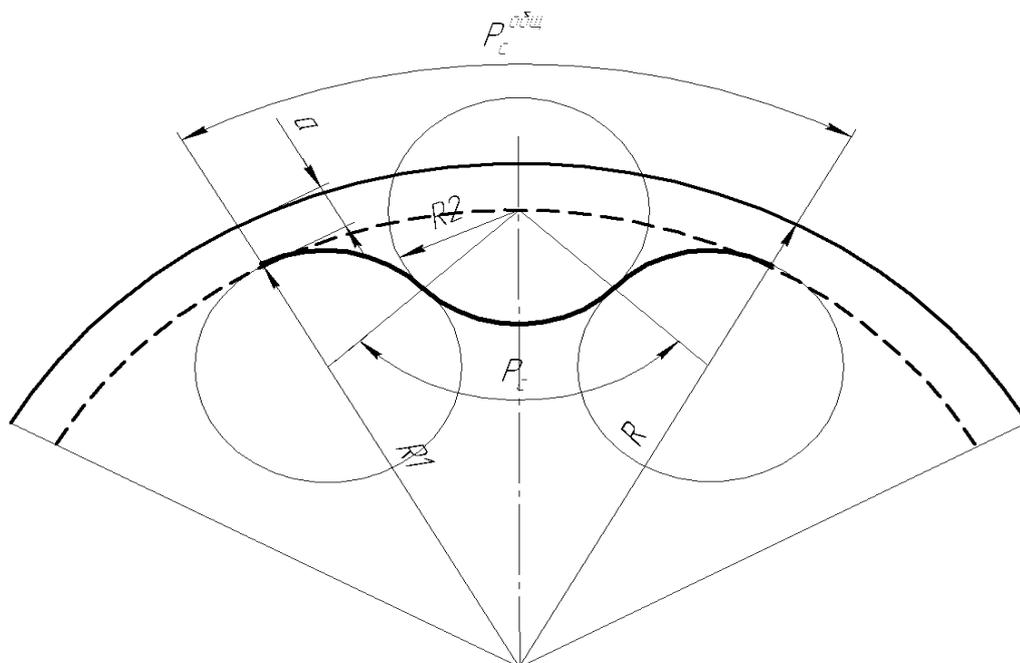


Рис. 5. Расчётная схема, используемая при изготовлении пластыря

Канавки выполняются по всей длине пластыря за исключением цилиндрических концов длиной 200–300 мм, необходимых для герметизации пластыря при расширении его жидкостью.

В табл.2 приведены данные по количеству и глубине канавок в зависимости от диаметра пластыря.

Табл. 2. Зависимость количества и глубины канавок от наружного диаметра пластыря

Наружный диаметр пластыря, мм	73	76	89	93	108	112	127	145
Глубина канавки, $h_k$ , мм	7,9	8,25	9,9	10,4	9,2	9,6	11	12,6
Количество канавок, шт	6	6	6	6	8	8	8	8

В случае, если пластырь будет расширяться с помощью специального пакера необходимое внутреннее давление в резинометаллическом элементе пакера можно определить из выражения

$$P_{вн} = P_{вн}^{max} + 2 |S_{кол}^B| E / [(D/2)^2 + (d/2)^2] / [(D/2)^2 - (d/2)^2] + \mu,$$

где  $S_{кол}^B$  —радиальное смещение внутренней поверхности эксплуатационной колонны, м;  $E$  - модуль упругости материала труб, Па;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

При прижатии пластыря к колонне за счет внутреннего давления происходит радиальное смещение (сдвиг) внутренней поверхности эксплуатационной колонны и наружной поверхности пластыря.

Поэтому общее уравнение смещений поверхностей колонны и пластыря можно записать в виде

$$|S_{кол}^B| = |S_{пл}^H| + |\Delta S_{пл}^H| + |\Delta S_{кол}^B|,$$

где  $S_{пл}^H$  —радиальное смещение наружной поверхности пластыря, м;  $\Delta S_{пл}^H$  —дополнительное радиальное смещение наружной поверхности пластыря под действием конечного контактного давления между пластырем и колонной  $P_k$ , м;  $\Delta S_{кол}^B$  —дополнительное

радиальное смещение внутренней поверхности колонны под действием конечного контактного давления между пластырем и колонной  $P_k$ , м.

Радиальное смещение внутренней поверхности эксплуатационной колонны можно определить из выражения

$$|S_{\text{кол}}^B| = [(P_{\text{вн}} - P_{\text{вн}}^{\text{max}})(d/2) / E] * [(D/2)^2 + (d/2)^2 + \mu] / [(D/2)^2 - (d/2)^2].$$

Разность между давлениями в пластыре  $P_{\text{вн}}$  и  $P_{\text{вн}}^{\text{max}}$  равна контактному давлению  $P_k$  между пластырем и эксплуатационной колонной.

После прижатия пластыря, внутреннее давление снимается, т.е.  $P_{\text{вн}} = 0$ , и устройство поднимается на поверхность.

Если  $|S_{\text{кол}}^B| > |S_{\text{пл}}^H|$ , то контакт между пластырем и эксплуатационной колонной сохранится после снятия внутреннего давления на пластырь.

Радиальное смещение наружной поверхности пластыря можно определить из выражения

$$|S_{\text{пл}}^H| = [\sigma_T (d/2)] / E_{\text{пл}}, \text{ м,}$$

где  $E_{\text{пл}}$  — модуль упругости материала пластыря, Па;

Дополнительное радиальное смещение наружной поверхности пластыря определяется из выражения

$$|\Delta S_{\text{пл}}^H| = 2P_k (d/2) (d/2 - \delta_{\text{пл}})^2 / E [(d/2)^2 - (d/2 - \delta_{\text{пл}})^2], \text{ м,}$$

где  $\delta_{\text{пл}}$  — толщина стенки пластыря после деформации.

Расчеты показывают, что радиального смещения пластыря практически не происходит.

Дополнительное радиальное смещение внутренней поверхности колонны определяется из выражения

$$|\Delta S_{\text{кол}}^B| = [P_k(d/2) / E] * [(D/2)^2 + (d/2)^2 + \mu] / [(D/2)^2 - (d/2)^2], \text{ м.}$$

После установки пластыря, т.е. после снятия внутреннего давления внутренняя поверхность эксплуатационной колонны не восстановится до первоначального состояния, которое она занимала до контакта с пластырем, на величину радиального перемещения  $\Delta S_{\text{кол}}^B$ .

### Литература

1. Сулейманов А.Б. Технология и техника эксплуатации скважин малого диаметра. — Баку: Азернефтешр, 1960. с.218.
2. Пилипец В.И. Насосы для подъема жидкости. — Донецк: РИА, 2000. с.241.
3. Юшков А.С., Пилипец В.И. Геологоразведочное бурение. — Донецк: Норд Пресс, 2004. - 404с.
4. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. — М.: Металлургия, 1970. 230 с.
5. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин. В 6-ти томах./Авт.: Басарыгин И.П., Булатов С.М. и др. — М.: Недра. 2002. Том 4. — 335 с.
6. Деформация металлов жидкостью высокого давления. /Авт.: Уральский В.И., Плахотин В.С., Шефтель И.И. и др. — М.: Металлургия.1976. 624 с.

© Пилипец В.И., Король В.И., 2007