

тенсивности воздействия будут меняться и параметры системы наблюдений. На этой структурной основе В.А. Павелко (1981) предложена основная классификация мониторинга (таблица).

В Республике Узбекистан Государственный мониторинг осуществляется по следующим уровням:

— локальный (импактный) мониторинг (охватывает территорию отдельных природно-техногенных и ландшафтно-экологических комплексов);

— региональный мониторинг (охватывает территорию, ограниченную физико-географическими, административными и иными границами);

— республиканский мониторинг (охватывает всю территорию Республики Узбекистан).

Основные задачи Государственного мониторинга инженерно-геологических условий и геоэкологической среды должны включать:

1) контроль за распространением попутных и сточных вод (промышленных стоков) в геологической (природной) среде;

2) оценка возможности влияния различных природно-технических систем на распространение в геологической (природной) среде попутных и сточных вод (промышленных стоков) как в период работы ППЗ, так и после его консервации;

3) оценка долевого участия процесса подземного захоронения в комплексе факторов, определяющих состояние окружающей среды территории района;

4) прогноз влияния распространения попутных и сточных вод (промышленных стоков) на природные и природно-технические объекты и системы.

#### Выводы

Ведение мониторинга недр — система многоуровневая, реализация которой в пределах республики еще только началась. Если некоторые системы ведения

мониторинга компонентов геологической среды уже достаточно полно организационно и структурно сложились (ведение мониторинга подземных вод, ведение мониторинга за опасными геологическими процессами в горных и предгорных зонах), то другие еще ждут своей практической реализации в полном объеме.

Создание единой национальной сети — задача ближайшего будущего, так как это связано не только с чисто техническими и экономическими трудностями, но и отсутствием научно-методической базы по многим вопросам, в том числе ведения ведомственного мониторинга недр.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдуллаев, Б.Д.* Захоронение попутных и сточных вод: проблемы и пути решения / Б.Д. Абдуллаев, Б.И. Туляганов // Геология и минеральные ресурсы. — 2015. — № 5. — С. 60–63.
2. Закон «О недрах» (новая редакция) от 13.12.2002 г. за № 444-И.
3. *Зильберштейн, Б.М.* О системе мониторинга геологической среды на полигонах подземного захоронения жидких промышленных отходов / Б.М. Зильберштейн, Н.Н. Егоров // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 11. — С. 25–30;
4. *Зубков, А.А.* Анализ системы геотехнологического мониторинга полигона подземного захоронения жидких радиоактивных отходов СХК / А.А. Зубков, В.В. Данилов, И.В. Токарев и др. // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 10. — С. 76–81.
5. *Справочное руководство по гидрогеологии.* — Л.: Недра. — Т. 2, 1967. — С. 166–191.
6. *Туляганов, Б.И.* Задачи геотехнологических исследований для обоснования захоронения промышленных стоков в водоносные горизонты / Б.И. Туляганов, А.Ф. Кадырходжаев // Горный вестник Узбекистана. — 2010. — № 1. — С. 49–57.
7. *Указатель законодательных и нормативных актов, действующих в области охраны природы и использования природных ресурсов.* Издание официальное. Система стандартизации в области охраны природы. — Ташкент, 2006. — 63 с.

© Туляганов Б.И., 2021

Туляганов Баходиржон Исмаилович // baxtul@mail.ru,  
hurshida\_@rambler.ru

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.245.42.004.6

Иванов Д.А.<sup>1</sup>, Арсентьев Ю.А.<sup>2</sup>, Соловьёв Н.В.<sup>2</sup>, Иванов А.Г.<sup>3</sup>, Барашков В.А.<sup>2</sup>, Башкатов И.А.<sup>2</sup> (1 — Компания «Weatherford» 4, 2 — МГРИ-РГГРУ, 3 — АО «Атомредметзолото»)

### О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ БИТУМНО-МАСЛЯНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЗАКОЛОННОГО РЕМОНТА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (СПВ) УРАНА

Основным объектом воздействия различных видов нагрузок, включая динамические, статические, температурные и другие, является эксплуатационная ко-

лонна полимерных труб, используемых при сооружении технологических скважин подземного выщелачивания урана. Величина и продолжительность их действия приводит к нарушению резьбового соединения и возникновению перетоков рабочих (кислотных) растворов в заколонное пространство указанных типов скважин. В настоящей статье даны результаты исследований, проведенных для определения возможности эффективного применения битумно-масляных смесей (БМС) для ремонта негерметичных участков эксплуатационной колонны с целью ликвидации обнаруженных перетоков рабочих растворов. **Ключевые слова:** технологическая скважина, герметичность, полимерная труба, устранение перетока, битумно-масляные смеси, проницаемость пород.

ON THE RESULTS OF STUDYING THE PROPERTIES OF  
BITUMEN-OIL MIXTURES FOR COLUMN REPAIR OF  
THREADED CONNECTIONS OF POLYMER PIPES OF  
TECHNOLOGICAL WELLS OF UNDERGROUND  
LEACHING OF URANIUM

*The operation of uranium SVE technology wells is accompanied by the impact of various loads on the operating columns of polymeric materials: dynamic, static, temperature, etc. Exposure to such loads in some cases can lead to the destruction of the ordinal compounds of casing pipes and the flow of working solutions through the encased area of such wells. This study is carried out in order to determine the possibilities of using bitumen-oil mixtures for well repair in order to eliminate detected flow. **Keywords:** technological wells, tightness, polymer pipes, removal of flow, bitumen-oil mixtures, permeability of rocks.*

Повышение эффективности работ по добыче урана методом СПВ является важнейшей задачей для добывающих предприятий. Одним из решений поставленной задачи может быть сокращение количества перебуриваемых или досрочно выводимых из эксплуатации аварийных скважин с нарушением герметичности резьбового соединения полимерных труб эксплуатационных колонн, приводящим к возникновению заколонных перетоков рабочих (кислотных) растворов. При этом ликвидация перетоков рабочих растворов через негерметичные участки колонн необходима как для исключения потерь кислоты, так и для предупреждения загрязнения водоносных горизонтов, залегающих над продуктивным.

Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости разработки технологий и технических средств ремонта эксплуатационных колонн, состояние которых является фактором, определяющим эффективность технологической скважины.

Однако известно, что вопросам потери герметичности резьбового соединения полимерных труб эксплуатационных колонн технологических скважин уделяется недостаточное внимание [1–4, 7]. В основном в указанных публикациях речь идет о выявлении причин возникновения перетоков рабочих растворов через негерметичные участки колонны, а рекомендуемые технические средства и методы в виде довинчивания труб с поверхности и подачи ремонтных материалов по заколонному пространству в интервал негерметичности в режиме свободного налива или в контейнере, спускаемом на бурильных трубах, непригодны для случаев когда заколонное пространство выше интервала перетока, заполнено материалом гидроизоляции, например, зацементировано. В связи с этим авторами статьи предлагается вариант ремонтных работ, включающий в себя последовательную подачу в интервал загрязнения заколонного пространства через нарушение резьбового соединения или перфорацию экс-

плуатационной колонны раствора, нейтрализующего рабочий (кислый) раствор, и тампонажного материала, кольматирующего каналы движения жидкости в заколонном пространстве и прискважинной области пород прилегающего водоносного горизонта. Для проверки такой технологии в лабораторных условиях в качестве нейтрализующего реагента был выбран водо-известковый раствор, вступающий в реакцию с рабочим раствором серной кислоты, с выпадением в осадок труднорастворимого гипса.

Выбор тампонажного материала связан с трудностями и, прежде всего, с невозможностью применения в большинстве случаев твердеющих материалов, в том числе цементных растворов. Их применение наряду со сложностью удержания в заколонном пространстве до окончания затвердевания цемента может быть неэффективным из-за недостаточной коррозионной стойкости и низкого сцепления, прежде всего, полиэтилена с цементным камнем, составляющего при испытаниях на сдвиг 0,01–0,08 МПа [5]. По этой причине для проведения испытаний был выбран материал, представляющий собой битумно-масляную смесь — раствор битума в нефтяных маслах.

Такой выбор обусловлен наличием в составе битумов высокомолекулярных составляющих — асфальтенов и смол. Битумно-масляные смеси (БМС) являются пластифицированными системами, т.е. концентрированными растворами высокомолекулярных соединений (ВМС), причем в качестве пластификатора выступают нефтяные масла [6]. В растворах ВМС наблюдаются явления сольватации и ассоциации, в связи с чем в битумно-масляных системах могут возникать в различной степени упорядоченные структуры. Асфальтены и смолы являются твердыми телами в составе БМС и способны к хемосорбции на минеральных частицах кислого состава. Можно предположить, что подача БМС в пористый песчаный коллектор сопровождается следующими процессами.

Во-первых, на поверхности минеральных частиц образуется пленка из асфальтогеновых кислот. Степень «осаждения» высокомолекулярных компонентов усиливается, если предварительно поровое пространство песков, подвергаемое кольматации, насыщается твердой фазой из частиц основного состава, в том числе известковыми частицами. При этом чем меньше размер пор, тем больше они содержат частиц основного состава и чем меньше скорость подачи БМС, тем быстрее должна наступать кольматация за счет физической адсорбции и хемосорбции полярных молекул БМС.

Во-вторых, при подаче БМС в режиме структурного течения в граничной области водоносного горизонта за счет уплотнения пространственной структуры асфальтенов и смол при одновременном «отжати» пластификатора в водоносный горизонт водонасыщенность коллектора не влияет на качество его кольматации, поскольку механизм кольматации определяется содержанием в БМС высокомолекулярных составляющих и их способностью к образованию и

уплотнению пространственной структуры, а не смазываемостью пород.

Для проверки возможности применения водоизвестковых растворов и БМС для заколонного ремонта резьбового соединения эксплуатационных колонн были выполнены экспериментальные работы с использованием установки для исследования проницаемости керна УИПК-1М. Принятая методика исследований предусматривала следующий порядок действий:

1. Измерение начальной (естественной) проницаемости образца  $K_{п1}$  по технической воде при давлении 0,35 МПа.

2. Насыщение образца раствором  $H_2SO_4$  с концентрацией 10 г/дм<sup>3</sup>.

3. Измерение проницаемости закисленного образца  $K_{п2}$  при давлении 0,35 МПа.

4. Кольматация образца водо-известковым раствором с различной концентрацией извести в воде ( $C_1=10$  г/дм<sup>3</sup>,  $C_2=50$  г/дм<sup>3</sup>,  $C_3=100$  г/дм<sup>3</sup>) и измерение проницаемости  $K_{п3}$  по водо-известковому раствору при давлении 1–2 МПа.

5. Кольматация загипсованного материала и измерение проницаемости  $K_{п4}$  при давлении 0,55–3,5 МПа.

6. Измерение проницаемости  $K_{п5}$  при создании противодавления 0,2–0,7 МПа технической водой на закольматированный БМС участок образца.

7. Измерение проницаемости  $K_{п6}$  при создании противодавления 0,2–0,4 МПа раствором  $H_2SO_4$  на закольматированный БМС участок образца.

При этом следует отметить, что соотношение битума и масла в составе БМС при проведении исследований составляло 2:3, а температура смеси для увеличения текучести составляла + 60–90 °С. В процессе проведения исследований использовались образцы керна, представленного песками различного granulometric composition.

Высота образцов составляла от 45 до 54 мм, а давление обжима в кернодержателе составляло от 2 МПа до 2,5 МПа. Давление подачи жидкостей и кольматирующих материалов приведены в табл. 1.

Рассчитанные на основании полученных результатов значения коэффициентов проницаемости образцов приведены в табл. 2.

В табл. 2 коэффициент проницаемости  $K_{п3}$  по водо-известковому раствору определялся для участка графика кольматации, соответствующего окончанию нейтрализации кислых растворов и началу механической кольматации пор образца твердой фазой водоизвесткового раствора. Продолжительность нейтрал-

Таблица 1

№№ образцов	Давление подачи при кольматации, МПа					Противодавление при декольматации, МПа	
	Техническая вода	Раствор $H_2SO_4$	Водо-известковый раствор	Глинистый раствор	БМС	Техническая вода	Раствор $H_2SO_4$
1	0,35	—	—	—	2,0	0,2	0,2
2	0,35	0,35	1,0 ( $C_1$ )	—	2,0	0,2	0,2
3	0,35	0,35	1,0 ( $C_3$ )	—	2,0	0,2	0,2
4	0,35	0,35	1,0 ( $C_2$ )	—	2,0	0,2	0,2
5	0,35	0,35	2,0 ( $C_2$ )	—	2,0	0,2	0,2
6	0,35	0,35	2,0 ( $C_3$ )	—	2,0	0,2	0,2
7	0,35	0,35	2,0 ( $C_2$ )	—	2,0	0,3	0,4
8	0,35	0,35	1,0 ( $C_1$ )	—	2,0	0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7	0,2; 0,3
9	0,35	0,35	1,0 ( $C_1$ )	—	2,0	0,4	0,4
10	0,35	0,35	1,0 ( $C_3$ )	—	2,0	0,35	0,35
11	0,35	0,35	1,0 ( $C_2$ )	—	2,5–3,5	0,5	0,5

Таблица 2

№№ образцов	Значения коэффициентов проницаемости, мД					
	при кольматации			при декольматации		
	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$K_{п3}$	$K_{п4}$	$K_{п5}$	$K_{п6}$
1	202,4	—	—	0	0	0
2	109,31	134,8	12,74	0	0	0
3	101,2	109,3	1,41	0	0	0
4	151,5	202,1	3,92	0	0	0
5	133,1	148,42	0,95	0	0	0
6	176,8	189,47	3,56	0	0	0
7	40,4	50,6	0,82	0	0	0
8	36,43	54,65	3,82	0	8,19*	15,72**
9	427,5	544,1	4,8	0	0	0
10	1263,1	1515,7	8,71	0	0	0
11	1445,34	—	1569,2	8,42	0	0

Примечания: \* — коэффициент проницаемости при противодавлении 0,7 МПа; \*\* — коэффициент проницаемости при противодавлении 0,3 МПа; после декольматации технической водой при противодавлении 0,7 МПа.

Таблица 3

№ № образцов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Глубина проникновения БМС, мм	37	8	10	13	18	15	40	38	30	40	51

зации кислых растворов в образце до выхода графика на участок механической кольтматации составила при проведении опытов от 185 до 1440 сек. При проведении измерений стабилизация проницаемости по технической воде ( $K_{п1}$ ) наступала через 15–420 сек., по раствору  $H_2SO_4$  ( $K_{п2}$ ) — через 15–360 сек., полное снижение проницаемости после начала подачи БМС ( $K_{п4}$ ) — через 420–1320 сек. в зависимости от гранулометрического состава песков образца.

При проведении декольтматации противодействие на закольтмированный участок образца создавалось в течение 30–40 мин. Декольтматация наступила только для образцов 1 и 9 при соотношении давлений кольтматации и декольтматации соответственно 0,36 и 0,35.

Визуальный осмотр зоны кольтматации пористого коллектора БМС показал, что эта зона представляет собой асфальтоподобную структуру с различной глубиной проникновения смеси в поровое пространство песков. Величина глубины проникновения БМС в закольтмированные водо-известковым раствором образцы приведены в табл. 3, а фотографии керновых песчаных образцов с предварительной кольтматацией глинистым раствором и без нее, демонстрирующих полученный эффект, показаны ниже на рисунке.

Выполненные исследования также показали, что подача кислых растворов с концентрацией 10 г/дм<sup>3</sup> приводит к увеличению проницаемости применявшихся образцов керна на 7–50 %, а подача водо-известковых растворов в закисленные образцы снижает проницаемость пористых коллекторов на несколько порядков. При этом кольтмантом является твердая фаза водо-известкового раствора и образующийся в порах образцов гипс. При длительной подаче этого раствора через образец возможна его полная механическая кольтматация твердой фазой.

Результаты исследований позволяют рекомендовать битумно-масляную смесь, являющуюся нетвердеющим тампонажным материалом, для заколонного ремонта технологических скважин путем кольтматации каналов движения рабочих растворов в прискважинной области проницаемых коллекторов, на которые замыкаются каналы движения жидкостей, и созданием

при этом асфальтоподобных кислотно-непроницаемых экранов.

Таким образом, результаты проведенных лабораторных исследований позволяют

сформулировать ряд требований, соблюдение которых при выполнении ремонтных работ обязательно.

1. Условия проведения ремонтных работ должны соответствовать следующим соотношениям:

$$(0,5-1,0) P_T \geq P_{ви} > P_{р};$$

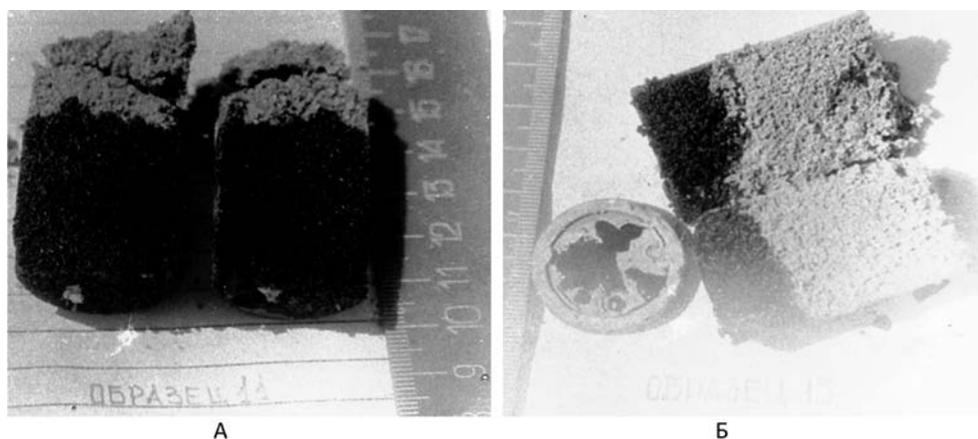
$$P_{разр.} > P_T > 3 P_{рк} > P_{мпр},$$

где:  $P_T$ ,  $P_{ви}$ ,  $P_{р}$ ,  $P_{разр.}$ ,  $P_{рк}$ ,  $P_{мпр}$  — соответственно давления подачи тампонажного материала; водо-известкового раствора; максимальное избыточное давление подачи рабочих растворов при эксплуатации; разрушающее внутриколонное давление для труб эксплуатационной колонны; максимальное противодействие со стороны изолируемого водоносного горизонта при понижении статического уровня жидкости в эксплуатационной колонне.

2. Ремонтные работы в скважинах с негерметичными эксплуатационными колоннами на стадии их сооружения целесообразно выполнять после окончания работ по их освоению, что способствует максимальному удалению глинистого материала в интервале негерметичности колонны, причем ремонт можно выполнить без предварительной (перед закачкой БМС) подачи водо-известкового раствора.

3. Продолжительность подачи БМС должна составлять не менее 30 мин. для достижения полной кольтматации каналов движения рабочих растворов в прилегающих к нарушению резьбового соединения колонны участках водоносных горизонтов.

4. При расположении нарушения резьбового соединения эксплуатационной колонны вне интервалов водоносного горизонта продолжительность



Кольтматация битумно-масляной смесью керновых песчаных образцов: А — образец керна без предварительной кольтматации глинистым раствором; Б — образец керна предварительно закольтмированный глинистым раствором

подачи БМС может быть изменена в сторону увеличения.

5. Качество ремонтных работ контролируется геофизическими методами: расходометрией, индукционным каротажем или опрессовкой [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, А.Г. Особенности ремонта эксплуатационных колонн технологических скважин в условиях многолетнемерзлых горных пород / А.Г. Иванов, Е.А. Гурулев, Н.А. Алексеев, Д.Н. Базаров, Д.А. Иванов, Ю.А. Арсентьев, А.П. Назаров // Актуальные проблемы урановой промышленности: Сб. трудов IX международной науч.-практ. конф. Ч. 1. 7–9 ноября 2019 г. — Алматы: Казак университеті, 2019. — С. 216–223.
2. Иванов, А.Г. Опыт определения герметичности эксплуатационных колонн методом опрессовки / А.Г. Иванов, В.А. Костин, Н.А. Остапец, А.П. Ежов // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия Горно-металлургическое производство. — 1989. — Вып. 3. — С. 17–20.
3. Иванов, А.Г. Опыт восстановления герметичности технологических скважин / А.Г. Иванов, В.А. Кравцов, В.А. Костин, А.П. Ежов // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия Горно-металлургическое производство. — 1989. — Вып. 6. — С. 17–19.
4. Иванов, А.Г. Сооружение и эксплуатация скважин в криолитозоне / А.Г. Иванов, И.Н. Солодов, Е.А. Гурулев // Решение экологических и технологических проблем горного производства на территории России, ближнего и дальнего зарубежья: Матер. международной науч.-техн. конф. — М.: ВНИПИпромтехнологии, 2019. — С. 204–212.
5. Кошколда, К.Н. Пути интенсификации подземного выщелачивания / К.Н. Кошколда, М.К. Пименов, Т. Атакулов и др. / Под ред. Н.И. Чеснокова. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 224 с.
6. Руденская, И.М. Органические вяжущие вещества для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. — М.: Транспорт, 1984. — 229 с.
7. Справочник по геотехнологии урана (российский опыт): монография / Под ред. И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева. — М.: «КДУ», «Университетская книга», 2017. — 576 с.

© Коллектив авторов, 2021

Иванов Дмитрий Александрович // dexhouse@ya.ru  
Арсентьев Юрий Александрович // arsentev1956@yandex.ru  
Соловьев Николай Владимирович // nvs@mgri-rggru.ru  
Иванов Александр Георгиевич // AlekGeorIvanov@armz.ru

УДК 622.24

Тунгусов С.А. (МГРИ-РГГРУ)

#### ПЕРЕНОС ШЛАМА ВОСХОДЯЩИМ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ПОТОКОМ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

В статье рассматривается взаимодействие потока промывочной жидкости и частицы шлама как в восходящем потоке, так и при движении потока горизонтально. Показаны силы, действующие на частицу шлама при разном направлении потока жидкости. Рассмотрен механизм переноса частицы шлама по горизонтальному участку ствола скважины. **Ключевые слова:** бурение скважин, поток жидкости, горизонтальный ствол скважины, перенос частицы шлама.

Tungusov S.A. (MGRI-RGGRU)

#### SLUDGE TRANSFER BY UPWARD AND HORIZONTAL FLOW OF FLUSHING FLUID

*The article discusses the interaction of the flow of flushing fluid and sludge particles in both upward and horizontal flows. The forces acting on the sludge particle at different directions of the fluid flow are shown. The mechanism of the transfer of sludge particles along the horizontal section of the wellbore is considered. **Keywords:** well drilling, fluid flow, horizontal wellbore, sludge particles transfer.*

Вскрытие продуктивных пластов горизонтальными скважинами позволяет существенно повысить эффективность извлечения углеводородов из пласта. Горизонтальное бурение вместе с тем необходимо и для разведки месторождений со сложной геологией. Также горизонтальное бурение скважин находит свое применение и в том случае, если размещение вертикальных скважин на данной территории представляется затруднительным, например, на территории заповедников или вследствие непростой ледовой обстановки на шельфе. Стоит также отметить все возрастающий объем бурения наклонно-направленных скважин при разведке твердых полезных ископаемых.

Рост объемов наклонно-направленного бурения вызвал и рост числа научных публикаций на эту тему. Но эти работы пока не дают ответ на некоторые вопросы, возникающие при проектировании и бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин. В частности, таким вопросом является задача эффективного удаления шлама как по вертикальной части ствола скважины, так и в горизонтальной части ствола скважины. Для вертикальной части существует достаточно стандартный расчет скорости промывочной жидкости, которая обеспечивает транспортирование шлама от забоя к устью скважины. Для наклонной части ствола скважины и горизонтального участка на сегодняшний день нет единой методики расчетов параметров движения промывочной жидкости. Отсутствие подобной методики связано с поиском решения целого комплекса задач, возникающих при транспортировании шлама в наклонно-направленных стволах скважин: оседание частиц шлама на горизонтальной поверхности ствола скважины, образование шламовой подушки в виде наносов, скатывание шлама по наклонной поверхности.

Такое положение создает необходимость более глубокого теоретического и экспериментального изучения процессов транспортирования шлама при бурении наклонно-направленных скважин.

При очистке вертикального ствола скважины как жидким, так и газообразным очистным агентом основное внимание уделяется скорости восходящего потока, несущего частицы шлама от забоя к устью. Скорость восходящего потока очистного агента  $v$ , как правило, определяют как скорость  $v_n$  подъема выбуренной породы в восходящем потоке очистного агента