

УДК 621.674

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОДНОВИНТОВЫХ НАСОСОВ СИСТЕМ ОЧИСТКИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Ф.Д. Балденко, канд. техн. наук

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина;

А.Н. Жакупов, начальник участка

ООО «Сервисный Центр СБМ»;

С.А. Ковалевский, главный конструктор

ООО «Альтернативные Механические Системы»

E-mail: ksa@am-systems.ru

Ключевые слова: буровой раствор; одновинтовой насос; очистная способность; регулировочная характеристика; циркуляционная система буровой установки; центрифуга.

Аннотация. Наряду с регулируемым электроприводом основных агрегатов, системой верхнего привода, вышкой с открытой передней гранью, долотами типа PDC, гидравлическими забойными двигателями и роторными управляемыми системами одним из ответственных комплексов бурового оборудования, обеспечивающих инновационное развитие и прогресс отрасли, является циркуляционная система буровой установки (ЦС БУ). Немаловажное значение имеет насосное оборудование ЦС, которое представлено динамическими (центробежными) и объемными насосами, применяемыми в различных технологических процессах при перекачке, приготовлении, очистке, подготовке и утилизации бурового раствора.

В современных ЦС БУ [1] одновинтовые насосы (ОВН), относящиеся к классу объемных роторно-вращательных гидромашин [2], применяются для выполнения следующих технологических задач:

- подачи бурового раствора в ступень тонкой очистки с использованием центрифуг осадительного типа (ОЦФ);
- дозирования химреагентов (флокулянта и коагулянта) в блоках химического усиления центрифуг;

- принудительного долива скважины при подъеме буровой колонны.

Если для дозирования растворов флокулянта и коагулянта с одинаковой эффективностью могут применяться различные виды объемных насосов, например перистальтические, а для долива скважины ввиду своей доступности и широкого распространения – центробежные насосы, то в качестве питающих устройств центрифуг в ЦС БУ применяются преимущественно

одновинтовые насосы [3]. Наиболее распространены регулируемые ОВН, укомплектованные механическими вариаторами с ременной передачей [4].

На сегодняшний день в известных литературных и справочных источниках нет систематизированных данных о режимах работы одновинтовых насосных агрегатов в системах тонкой очистки буровых растворов и условиях их эксплуатации.

На практике выбор типоразмера питающего насоса, ди-

апазона его регулирования и режима работы осуществляется либо исходя из собственного опыта, либо на основе паспортных характеристик центрифуги на воде (рис. 1). В обоих случаях существует вероятность ошибки, что может вызвать ряд эксплуатационных ограничений и отрицательно сказаться на эффективности как процесса тонкой очистки растворов, так и использования питающих насосных агрегатов.

Например, на ранних стадиях внедрения ОВН в ЦС БУ некоторыми производителями были предложены спорные решения. Так, французская компания РСМ [6] с 2010 по 2014 г. поставила на российский рынок буровых установок винтовые насосы 40M12S с максимальным давлением 1,2 МПа, что обеспечивало почти четырехкратный запас в системе очистки буровых растворов.

В настоящее время применение общих методов центрифугирования [7] при очистке буровых растворов становится неперенным условием достижения эффективности процесса

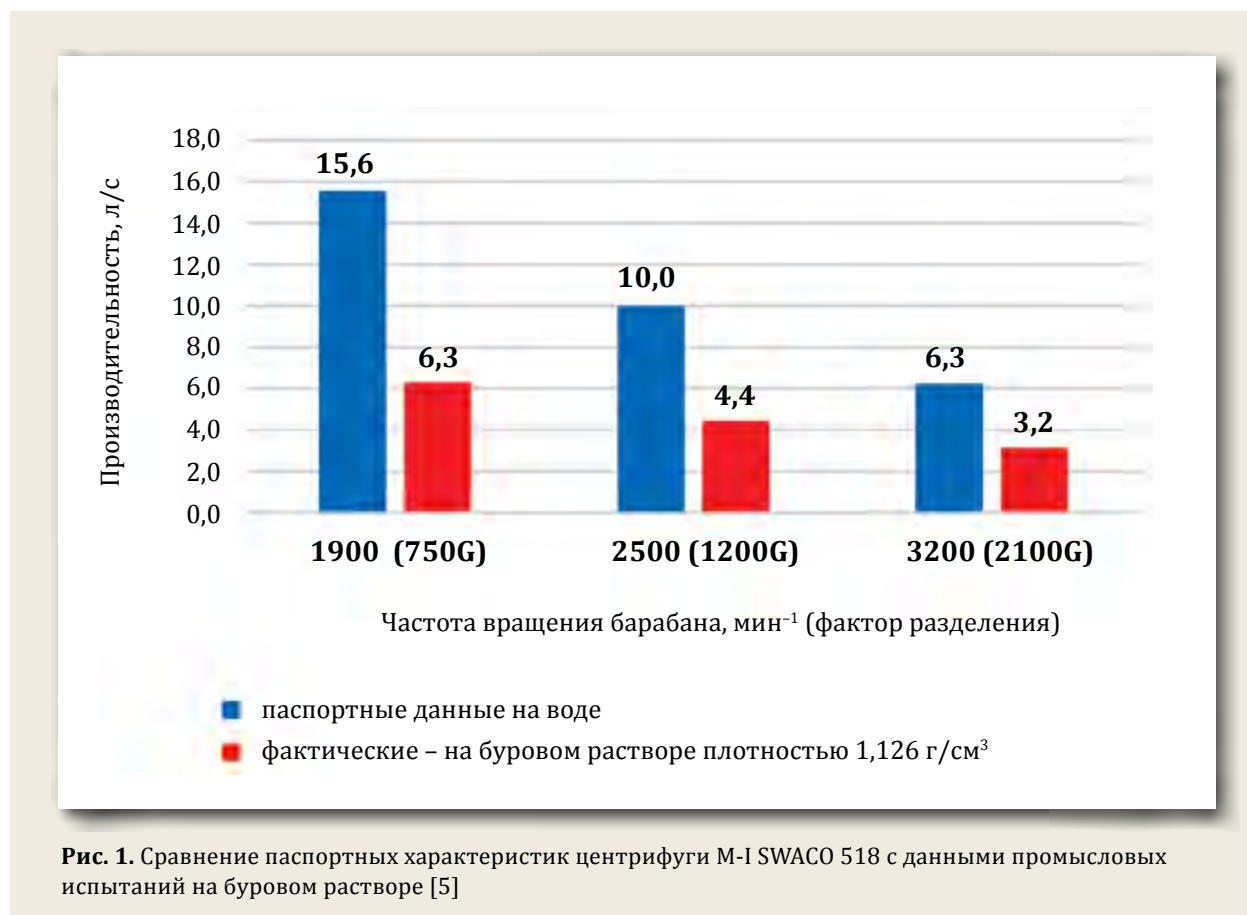
разнообразных типов растворов делает проблему выбора необходимого типоразмера ОВН для ОЦФ все злободневнее. Например, в целях предотвращения перегрузки центрифуги и

На сегодняшний день в известных литературных и справочных источниках нет систематизированных данных о режимах работы одновинтовых насосных агрегатов в системах тонкой очистки буровых растворов и условиях их эксплуатации.

бурения нефтяных и газовых скважин и разработки циркуляционного комплекса буровой установки.

Постепенный переход буровых компаний к применению

обеспечения требуемой минимальной подачи буровики иногда излишне занижают частоту вращения ОВН за счет избыточного скольжения ремня по основанию ведущего шкива вари-



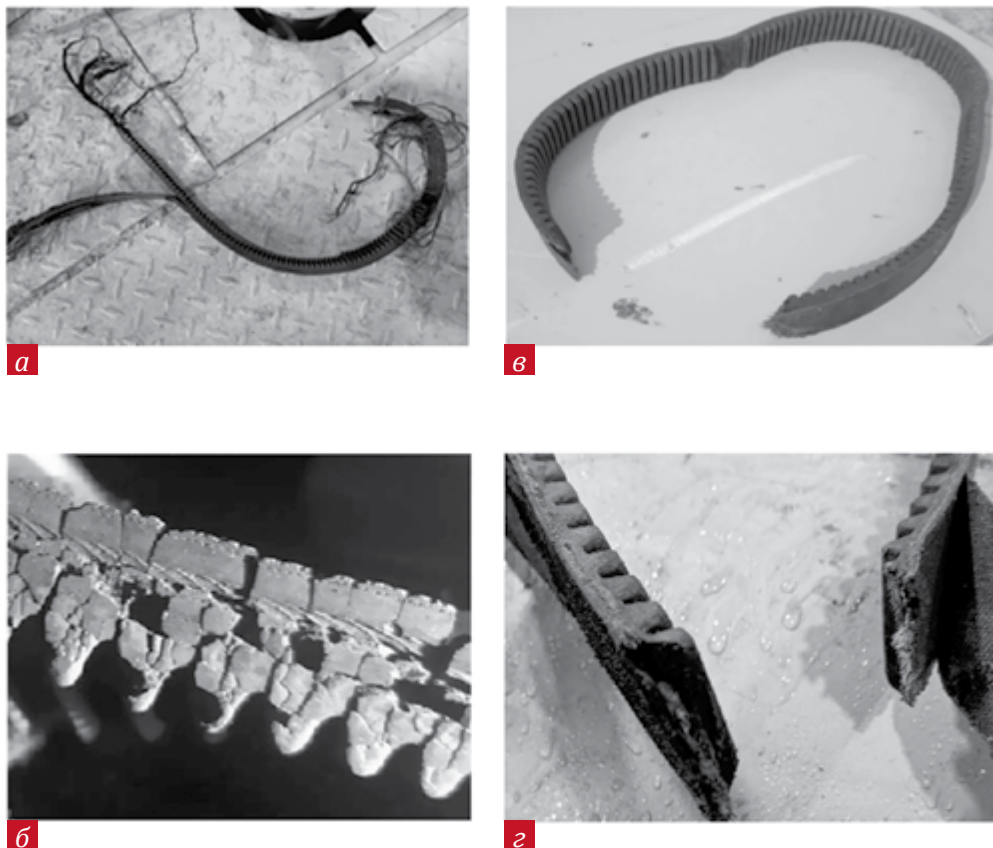


Рис. 2. Характер повреждений (а-г) ремней механического вариатора ОВН

тора. Продолжительная работа оборудования в таком режиме сопровождается чрезмерным нагревом и износом рабочих поверхностей, что часто приводит к повреждению вариаторных ремней (рис. 2). В отдельных случаях приходится модернизировать обвязку ОВН в полевых условиях для байпасирования излишков бурового раствора.

Таким образом, исследование технологических особенностей подсистемы ОВН – ОЦФ, определение ее характеристик и режимных параметров в зависимости от условий применения являются актуальными, что, по мнению авторов, создаст необходимые предпосылки для раз-

работки модельного ряда специализированных одновинтовых насосов для буровых установок.

Условия эксплуатации подсистемы ОВН – ОЦФ

Осадительные центрифуги в ЦС БУ выполняют три основные функции:

- очистку раствора (суспензии) от шлама (твёрдых частиц горных пород) в процессе бурения скважины – функция удаления;
- восстановление ценных компонентов для их повторного

использования – функция регенерации;

- утилизацию буровых отходов путем глубокого разделения бурового раствора на фазы – функция обезвреживания.

Применение центрифуг экономически целесообразно в процессе бурения нижних интервалов под промежуточную и эксплуатационную колонны, а также при вскрытии продуктивных горизонтов, когда шлам более мелкий и используются растворы, содержащие дорогостоящие компоненты (утяжелители, полимеры, синтетические жидкости), или утилизация буровых отходов невозможна без предварительной обработки ввиду их экологической

Таблица 1

Технические характеристики ступени тонкой очистки бурового раствора на базе ОЦФ

Функция	Тип раствора	Технологический процесс	Цель	Критерий оценки	Производительность, л/с
Удаление	Неутяжеленный РВО	Очистка фугата илоотделителя в качестве 4-й ступени ЦС БУ	Регулирование плотности и условной вязкости	Степень очистки	≤ 8
	Утяжеленный РВО	Очистка фильтра-та СГС	Регулирование пластической вязкости		≤ 4
	РУО, РСО	Очистка фильтра вибростит в качестве 2-й ступени ЦС БУ			≤ 4
Регенерация	Неутяжеленный РВО	Сгущение пульпы илоотделителей	Восстановление жидкой фазы	Минимизация потерь утяжелителя	≤ 2
	Утяжеленный РВО	Сгущение подситовой жидкости СГС			≤ 2
	РУО, РСО	Последовательная обработка раствора двумя центрифугами ЦС БУ	Регулирование пластической вязкости, восстановление утяжелителя и жидкой фазы	Степень очистки и минимизация потерь утяжелителя	≤ 4 и ≤ 8
		Осушение шлама и очистка фугата	Восстановление жидкой фазы из шлама	Степень очистки	≤ 2
Обезвреживание	Неутяжеленный РВО	Обработка раствора с применением БКФ	Разделение раствора на шлам и чистую воду	Очистная способность и минимизация потерь химреагентов	≤ 2
	Утяжеленный РВО				
	РУО, РСО	Очистка раствора БДЕ	Подготовка шлама для утилизации	Очистная способность	≤ 2

Примечание. РВО – раствор на водной основе; РУО – раствор на углеводородной основе; РСО – раствор на синтетической основе; СГС – ситогидроциклонный сепаратор; БКФ – блок коагуляции и флокуляции; БДЕ – блок дополнительных емкостей.

вредности. На начальных этапах строительства скважины (на верхних интервалах под

направление и кондуктор) для очистки глинистых растворов на водной основе (РВО) тонкая

ступень очистки на базе центрифуги, как правило, не задействована.

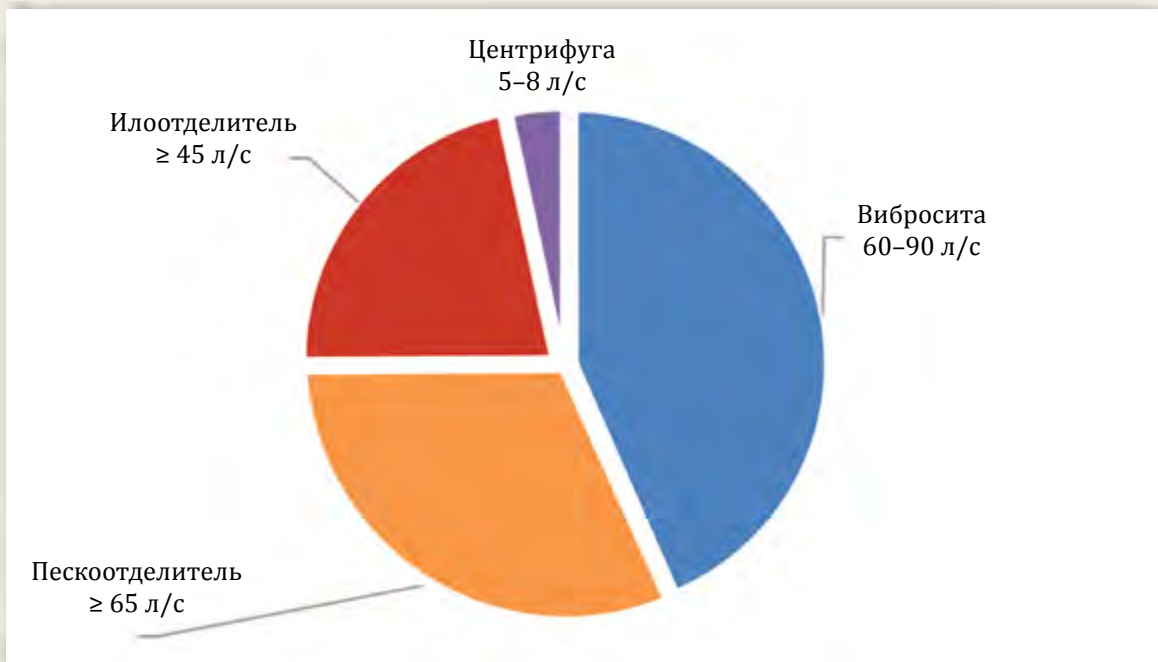


Рис. 3. Сравнительная диаграмма производительности средств очистки на неутяжеленном растворе для буровых установок 7-9-го классов по ГОСТ 16293-89

Несмотря на существенно меньшую по сравнению с другим сепарационным оборудованием пропускную способность (рис. 3), использование центрифуг заметно повышает общую степень очистки бурового раствора за счёт удаления до 30-40 % объема породы мелкой фракции (≤ 10 мкм), что определяет их применение в качестве заключительной ступени очистки.

С учетом производительности различных ступеней системы очистки бурового раствора [8] и гидравлической программы промывки скважин ЦС БУ в России комплектуются двумя осадительными центрифугами, каждая из которых оснащена отдельным питающим насосом с индивидуальным приводом.

Анализ основных технологических схем применения осадительных центрифуг в ЦС БУ [9-14] позволил обобщить диапазоны объемных расходов подсистемы ОВН - ОЦФ в зависимости от режимов работы,

обусловленных критериями эффективности сепарации [15] для соответствующего типа бурового раствора (табл. 1).

Для оценки эффективности центрифуг ЦС БУ используются следующие показатели [14].

Очистная способность, определяющая качество сепарации (разделения раствора на шлам и фугат)

$$\varphi_{\Sigma} = \frac{(\rho - \rho_{сл})(\rho_{тв} - \rho_{ж})}{(\rho_{тв} - \rho)(\rho - \rho_{ж})}, \quad (1)$$

где ρ , $\rho_{сл}$ - плотности раствора на входе и на выходе (слив) из центрифуги; $\rho_{тв}$, $\rho_{ж}$ - плотности твердой и жидкой фаз раствора.

Степень очистки раствора - показатель, одновременно учитывающий качество очистки и объем обработанного раствора, поступающего из скважины в ЦС в процессе бурения

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_{сл}}{\rho_{тв} - \rho} \cdot \frac{Q}{v_{мех} F b_k} = \varphi_{\Sigma} \frac{\rho - \rho_{ж}}{\rho_{тв} - \rho_{ж}} \cdot \frac{Q}{v_{мех} F b_k}, \quad (2)$$

где Q - объемный расход раствора на входе в центрифугу; $v_{мех}$ - механическая скорость бурения; F - площадь забоя, зависящая от диаметра долота; b_k - коэффициент кавернозности разбуриваемого интервала горных пород.

Потери утяжелителя:

$$y = 1 - \frac{(\rho - \rho_{сл})(\rho_{пу} - \rho_{ж})}{(\rho_{пу} - \rho)(\rho - \rho_{ж})}, \quad (3)$$

где $\rho_{пу}$ - плотность утяжеленной пульпы на входе в центрифугу.

С другой стороны, показатели свойств буровых растворов (табл. 2) определяют условия эксплуатации ОВН ЦС БУ в отношении влияния на следующие параметры:

- фрикционный и гидроабразивный износ винтовых рабочих органов (объемное содержание твердой фазы в растворе);
- объёмные, гидромеханические потери и температурный

Таблица 2

Обобщённая характеристика буровых растворов [10, 13, 16]

Свойства	Буровые растворы			
	на водной основе			на неводной основе
	Диспергирующие		Недиспергирующие	РУО и РСО
	Неутяжеленные	Утяжеленные	Полимерные	
Плотность, г/см ³	1,02–1,20	1,20–2,34	1,02–2,16	1,08–2,28
Пластическая вязкость (ПВ), мПа·с	5–9	14–54	5–50	9–54
Динамическое напряжение сдвига (ДНС), Па	50–335	240–765	240–720	190–960
Объемное содержание твердой фазы, %	2–12	11–45	2–38	5–43

режим в рабочих органах (вязкость и плотность жидкости).

Как известно, рабочая точка насоса определяется пересечением напорных характеристик насоса и гидравлической ли-

нии (рис. 4). Напорные характеристики подсистемы ОВН – ОЦФ обусловлены в основном гидравлическими потерями в нагнетательном трубопроводе, что объясняется технологиче-

скими особенностями шнековых осадительных центрифуг, эффективная работа которых определяется отсутствием прорыва раствора в шлам, т. е. выгрузка фугата осуществляется за счет центробежной силы через сливные отверстия в торцевой части вращающегося барабана центрифуги. Если выполняется данное условие, то давление питающего насоса центрифуги зависит от схемы обвязки, включая конструкцию питающей трубы и загрузочных окон центрифуги, а также расхода и свойств перекачиваемого продукта.

Наибольшую сложность при вычислении гидравлических потерь составляет определение режимов течения бурового раствора как псевдопластичной жидкости для каждого участка напорной линии, поэтому для дальнейшего исследования целесообразно использовать данные промышленных испытаний.

Следует отметить, что давление насоса не зависит от

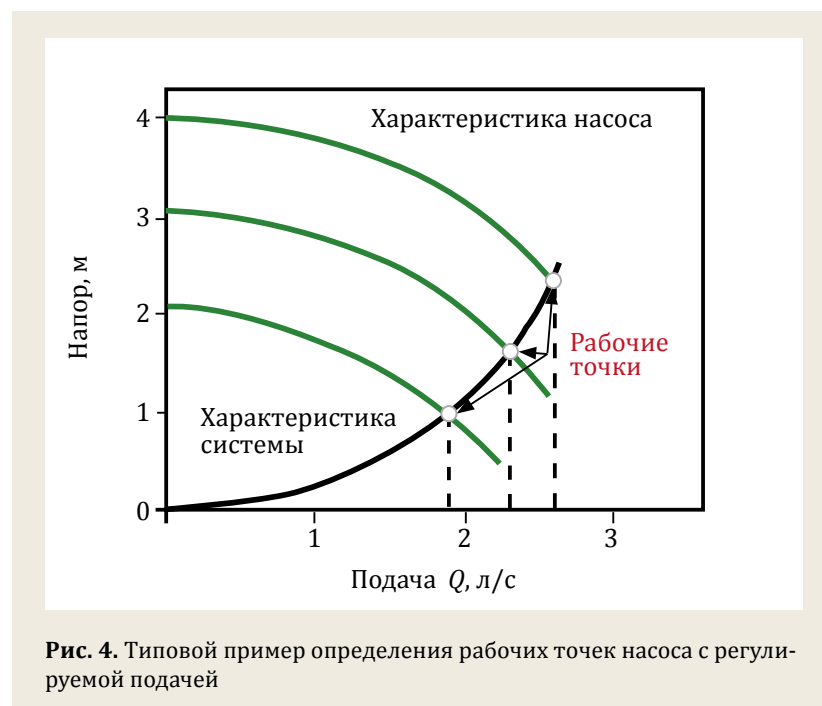


Рис. 4. Типовой пример определения рабочих точек насоса с регулируемой подачей

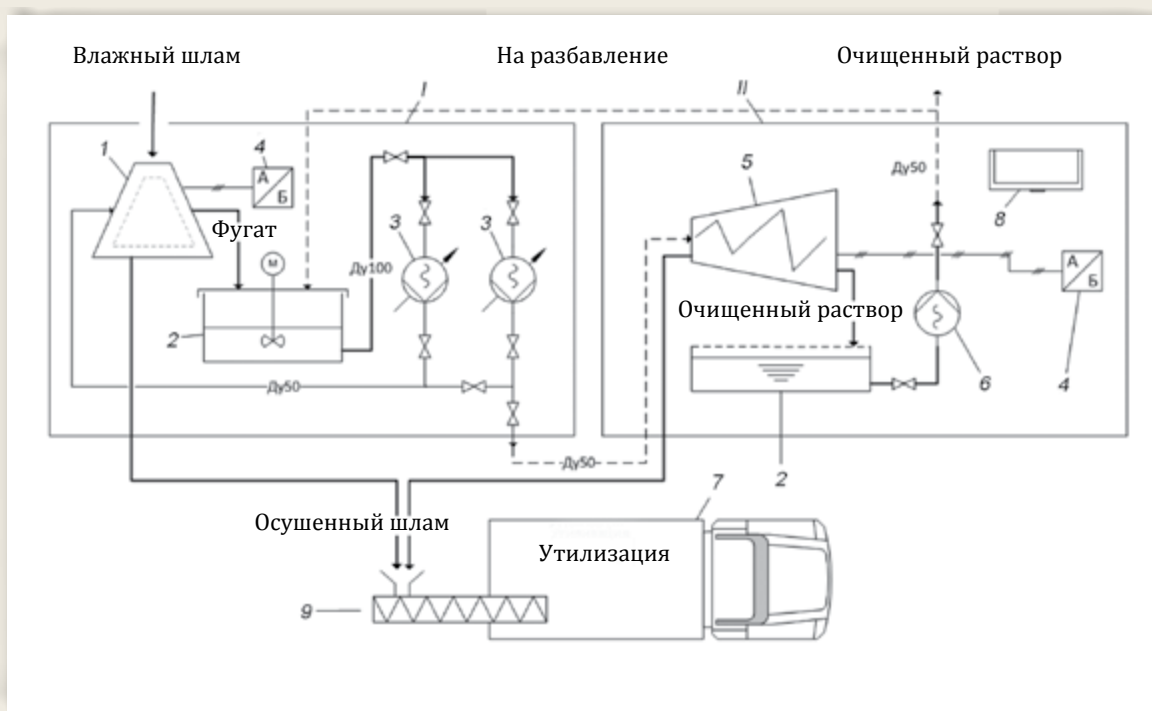


Рис. 5. Технологическая схема двухблочной I, II мобильной установки осушения шлама (ПетроГазТех Завод АРТЭС):

1 – фильтрующая центрифуга; 2 – накопительная емкость; 3 – одновинтовой насос с регулируемой подачей; 4 – шкаф управления; 5 – шнековая осадительная центрифуга; 6 – одновинтовой насос; 7 – самосвал; 8 – лаборатория; 9 – шнековый конвейер

режима работы центрифуги, который определяется частотой вращения барабана, скольжением выгружающего шнека, глубиной ванны и положением питающей трубы [17, 18]. В качестве аргумента можно привести конструкцию установок для регенерации утяжелителя буровых растворов на базе центрифуг ОГШ [19], которые активно поставлялись на буровые в начале 2000-х гг. На входе в центрифугу была установлена пополняемая насосом загрузочная воронка высотой 500–600 мм, из которой буровой раствор самотеком поступал в барабан. Наличие воронки позволяло визуально контролировать режим работы центрифуги и при необходимости изменять подачу насоса при помощи шарового крана.

Очистка буровых растворов на углеводородной основе

В последнее время в кустовом бурении широкое распространение получили мультирастворные технологии промывки скважин с использованием растворов на углеводородной и синтетической основах.

РУО представляют собой обратную эмульсию (вода в масле) и обладают уникальными свойствами, которые наиболее актуальны при строительстве наклонно направленных скважин и вскрытии продуктивных горизонтов. Однако при всех достоинствах применения РУО существует ряд таких недостатков, как высокая начальная

стоимость, трудность очистки от шлама и экологическая вредность, что выдвигает дополнительные требования к оборудованию ЦС БУ.

В практике очистки РУО и РСО от шлама не рекомендуется использование гидроциклонов и центробежных насосов, поскольку они являются сильнодиспергирующим оборудованием, что приводит к ухудшению реологических свойств бурового раствора. Наиболее эффективно в данном случае применение современных осушительных вибросит, а также фильтрующих и осадительных центрифуг в сочетании с ОВН. В отличие от центробежных одновинтовые насосы не нарушают структуру флюида, поэтому их применение в качестве перекачивающих устройств в ЦС

БУ оправдано с точки зрения эффективности очистки при многократном использовании буровых растворов на неводной основе.

Высокие механические скорости бурения на РУО сопровождаются выносом крупных частиц выбуренной породы, которые удаляются из раствора высокопроизводительными виброситами относительно влажными (содержание масла в шламе составляет более 30 %). Дополнительное оснащение циркуляционных систем установками мобильными для осушения шлама (УМОШ) позволяет восстановить жидкую фазу, снизить объемы отходов бурения и удовлетворить требованиям экологической безопасности.

Принципиально УМОШ состоит из двух блоков контейнерного исполнения I, II (рис. 5), в одном из которых установлена фильтрующая центрифуга (ФЦФ) 1, а в дру-

гом – осадительная центрифуга 5. Встречаются также однопочные установки, когда для тонкой очистки фугата задействована ОЦФ штатной циркуляционной системы.

Основное назначение ФЦФ – осушение шлама после вибросит ЦС. Шлам загружается в вертикально расположенный вращающийся перфорированный барабан самотеком по желобу или принудительно конвейером. Ввиду своего назначения фильтрующие центрифуги часто называют осушителями бурового шлама.

В последнее время в кустовом бурении широко распространение получили мультирастворные технологии промывки скважин с использованием растворов на углеводородной и синтетической основах.

Промысловые испытания одновинтовых насосов ЦС БУ

В результате опытно-промышленных испытаний, проведенных специалистами компании АМС совместно с ООО "Сервисный центр СБМ" в июле 2018 г. в процессе бурения наклонно направленной скв. 43998Г на кусте 529 Приобского месторождения, установлено, что подача ОВН является одним из основных технических показателей, определяю-

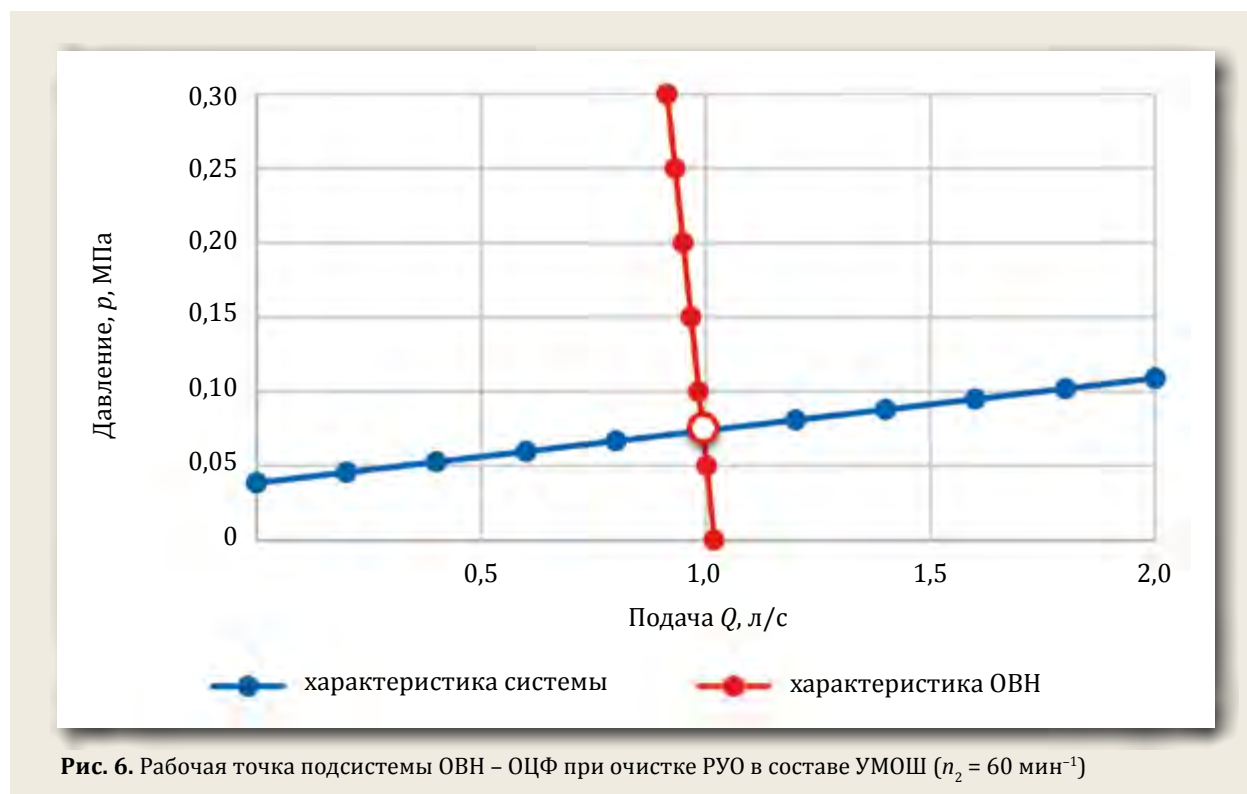


Рис. 6. Рабочая точка подсистемы ОВН – ОЦФ при очистке РУО в составе УМОШ ($n_2 = 60 \text{ мин}^{-1}$)

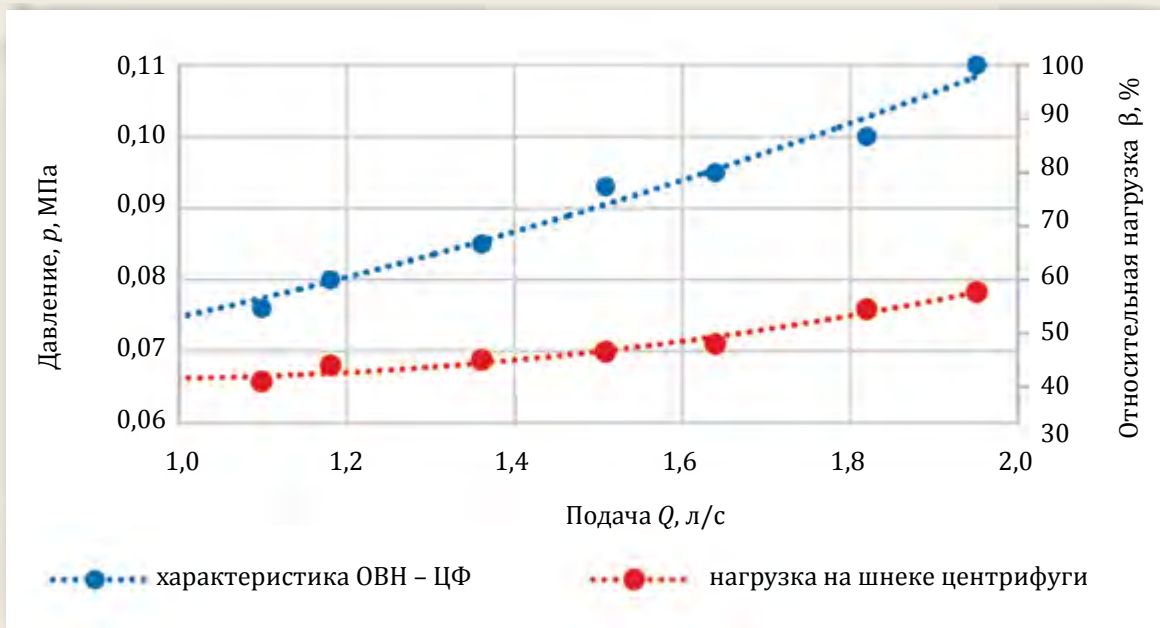


Рис. 7. Регулировочная характеристика ОВН – ОЦФ в рабочем диапазоне осадительной центрифуги ($n_2 = 60-120 \text{ мин}^{-1}$)

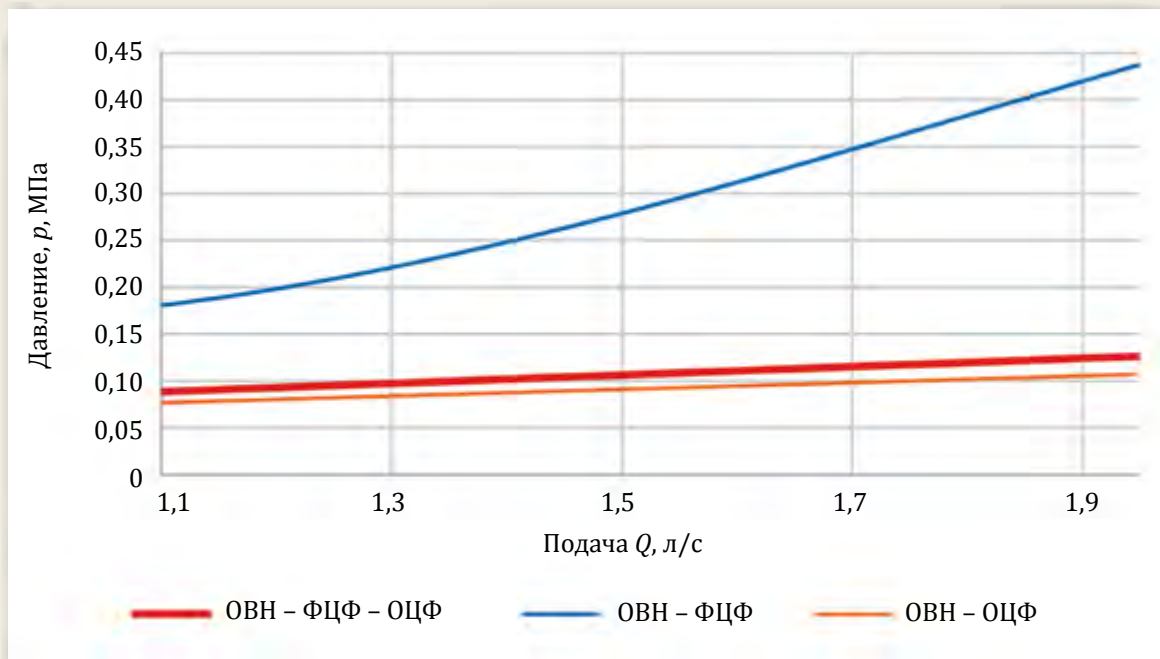


Рис. 8. Совместная регулировочная характеристика ОВН – ОЦФ – ФЦФ при очистке РУО в составе УМОШ

щим режимы работы и эффективность эксплуатации осадительной центрифуги в составе УМОШ.

Измерялись следующие параметры процесса: для ОВН – давление на входе и выходе, частота вращения винта; для

ОЦФ – частота вращения барабана, нагрузка на шнеке, скольжение шнека. Поддача насоса рассчитывалась исходя

из стендовых характеристик ОВН на воде при допущении, что объемные КПД насоса на воде и буровом растворе равны.

Основные технические характеристики оборудования объекта испытания:

Одновинтовой насос AMS PCP30S6 с механическим вариатором: контурный диаметр рабочих органов $D_k = 117$ мм, число шагов $k = 1,4$, подача $Q = 4-24$ м³/ч, диапазон регулирования частоты вращения винта $n_2 = 60-360$ мин⁻¹, мощность электродвигателя 5,5 кВт;

Осадительная центрифуга GNLW363CG-VFD: диаметр барабана $D_6 = 360$ мм, длина барабана $L_6 = 1270$ мм, частота вращения барабана $n_6 = 2400$ мин⁻¹, скольжение шнека $\Delta = 45$ мин⁻¹, глубина ванны – 3 деления;

Фильтрующая центрифуга GNCD 930: максимальный диаметр барабана $D_6 = 930$ мм, частота вращения барабана $n_6 = 900-1200$ мин⁻¹.

На основе полученных данных построены совместные характеристики подсистем в составе УМОШ:

- ОВН – ОЦФ при постоянной частоте вращения насоса (рис. 6);

- ОВН – ОЦФ при изменении частоты вращения насоса и соответствующая нагрузочная кривая осадительной центрифуги (рис. 7);

- ОВН – ОЦФ – ФЦФ при параллельной подаче раствора на осадительную центрифугу и контур осушения шлама через форсунки (рис. 8).

В рабочем диапазоне расхода (1-2 л/с) при очистке

РУО осадительной центрифугой скорость жидкости и число Рейнольдса в напорной линии насоса изменяются в диапазоне: $v = 0,5 - 1,0$ м/с и $Re = 385-775$.

Проведен ретортный анализ бурового раствора до и после очистки на осадительной центрифуге УМОШ и определены основные показатели свойств фугата фильтрующей центрифуги: плотность – 1,42 г/см³, содержание твердой фазы – 26 %, пластическая вязкость – 95 мПа·с, динамическое напряжение сдвига – 1680 Па, температура $t = 24^\circ$ С.

Очистная способность (%) при работе ОЦФ в различных режимах на РУО оценивалась по формуле (1), плотности (г/см³) твердой и жидкой фаз, принимались соответственно $\rho_{тв} = 2,6$ и $\rho_{ж} = 0,85$.

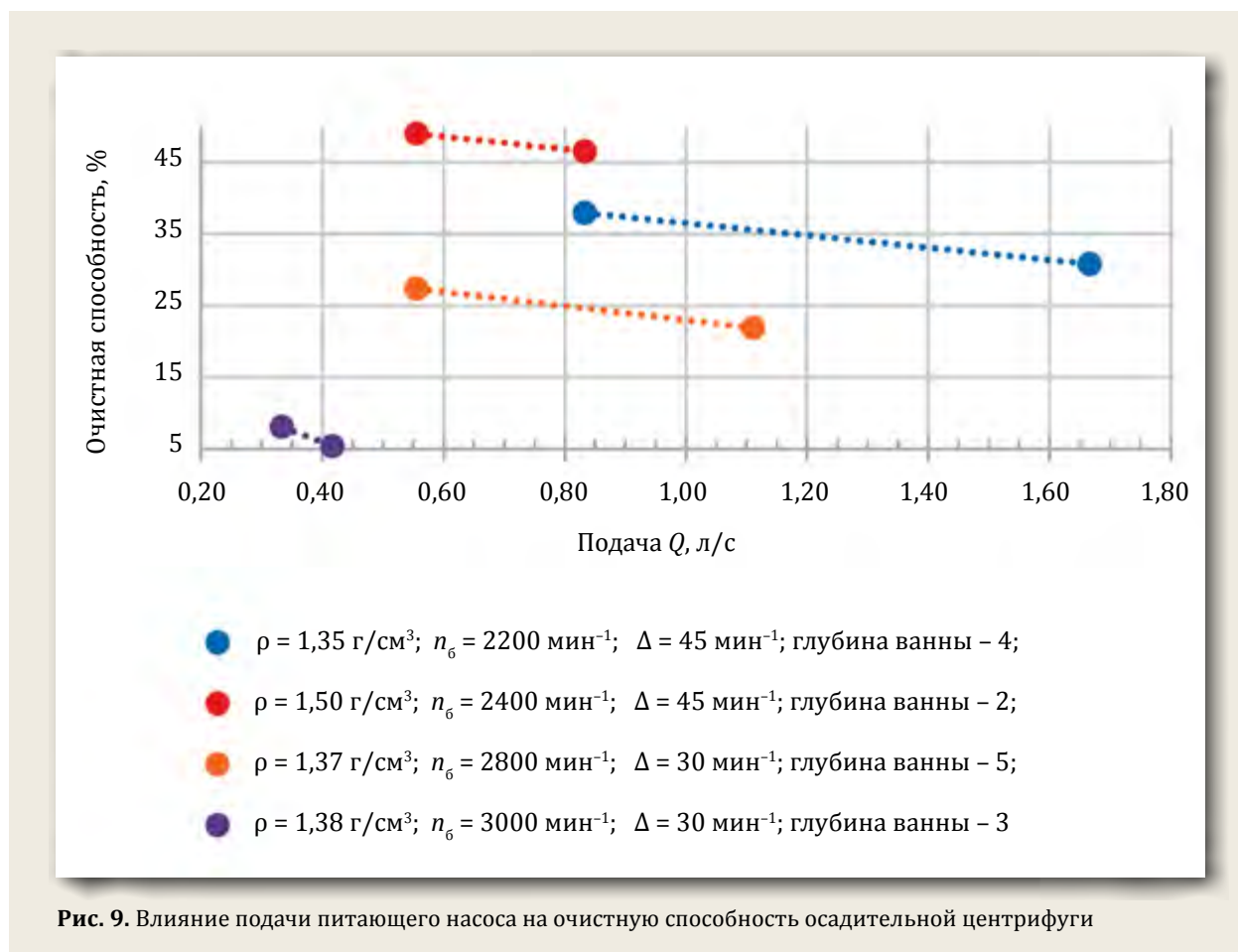


Рис. 9. Влияние подачи питающего насоса на очистную способность осадительной центрифуги

Таблица 3

Данные эксплуатации одновинтовых насосов в составе УМОШ

Номер		Интервал, м	Плотность раствора, г/см ³	Содержание твердой фазы, %	Диапазон подачи ОВН, л/с
куста	скважины				
315	55857	Очистка раствора БДЕ	1,37	28	1,0–2,2
315	55857	1970–3850	1,51	26	1,0–1,6
170	49735г	1370–4190	1,37	43	1,3–2,4
529	43021г	1410–4300	1,42	32	1,3
529	43021г	Очистка раствора БДЕ	1,65–1,38	41–24	0,8–1,5
529	43998г	1400–2300	1,42	26	1,5–2,5

Обобщенные данные эксплуатации одновинтовых насосов в составе УМОШ при кустовом бурении скважин Приобского месторождения представлены в табл. 3.

Заключение

С внедрением мультирастворных технологий промывки скважин и методов центрифугирования бурового раствора возникла необходимость комплектации ЦС БУ одновинтовыми насосами с широким диапазоном подач от 1 до 30 м³/ч (0,3–8,3 л/с). Поскольку промышленные механические вариаторы имеют недостаточный диапазон регулирования скорости (1:7,5), а установка электрических преобразователей частоты зачастую осложнена требованиями по взрывозащите, эксплуатирующие организации вынуждены прибегать к менее совершенным методам изменения расхода – перепуску излишков раствора по байпасу. Кроме того, работа ОВН в широком скоростном диапазоне отрицательно сказывается на энергетических и эксплуатационных показате-

лях, что приводит к снижению ресурса и КПД насоса.

Комплекс испытаний центрифуг осадительного и фильтрующего типов с питанием от ОВН в составе УМОШ (см. рис. 5) позволил получить регулировочные характеристики подсистем установки как совокупности рабочих точек при регулировании расхода при использовании различных типов буровых растворов.

Результаты испытаний демонстрируют влияние подачи ОВН на относительную нагрузку β по крутящему моменту на шнеке осадительной центрифуги (см. рис. 7). Эксплуатация центрифуг на РУО в составе УМОШ при $\beta > 60\%$ может привести к шламованию отверстий для выгрузки осадка и в конечном счете – аварийной остановке (при срабатывании автомата в отсутствие скольжения между барабаном и шнеком). Следовательно, характеристики ступени ОВН – ОЦФ в составе УМОШ определяются работоспособностью центрифуги на РУО.

Очистная способность центрифуги также зависит от подачи питающего насоса, с увели-

чением которой уменьшается время удержания раствора в барабане центрифуги (рис. 9).

Графики регулировочных характеристик $p-Q$ (см. рис. 7, 8) имеют линейный вид, поэтому с учётом доминирующего влияния гидравлического сопротивления линии можно сделать вывод о ламинарном характере движения бурового раствора в трубопроводе во всем диапазоне подач, что подтверждается расчётными значениями чисел Re.

Изменение показателей свойств буровых растворов в процессе бурения влияет на эффективность тонкой очистки и режим работы подсистемы ОВН – ОЦФ, в том числе на напорно-расходные характеристики. Повышение вязкости и плотности раствора приводит к снижению очистной способности и увеличению крутящего момента на шнеке центрифуги, что вызывает необходимость уменьшения подачи питающего насоса.

Таким образом, выбор типоразмера ОВН для заданной центрифуги должен определяться диапазоном требуемых

подач и соответствующим давлением (для исходной обвязки и свойств раствора) с учетом номинального режима работы, как правило – по максимально допустимому для эффективной работы ОЦФ расходу, которому соответствует оптимальный режим насоса по быстроходности.

Для повышения эффективности процесса тонкой очистки рекомендуются модернизация гидравлической схемы и оснащение ЦС БУ одновинтовыми насосами двух типоразмеров (с различным рабочим объемом) для подачи бурового раствора в осадительные центрифуги, что позволит обеспечить оптимальный диапазон подач: 7–35 м³/ч – при очистке растворов на водной основе; 1–15 м³/ч – при последующем переходе на РУО.

Исходя из технических требований производителей циркуляционных систем к питающим насосам центрифуг и учитывая расходные характеристики (см. табл. 1), а также данные промышленных испытаний ступеней тонкой очистки буровых растворов (см. табл. 2), необходимое давление для преодоления сопротивлений в напорной линии составляет 0,1–0,3 МПа. Как правило, насосы находятся под заливом и давление на входе близко к атмосферному. В связи с чем можно сделать вывод о достаточности использования в качестве питающих насосов центрифуг ЦС БУ простейших одношаговых конструкций ОВН с однозаходным винтом и целесообразности сосредоточения основных усилий на исследовании оптимальных сочетаний между геометрическими и режимными параметрами насоса (в частности соотношения между диаметром рабочих органов и номинальной частотой вращения), а также выборе свойств эластомера обкладки статора для определённых условий эксплуатации и диапазона реду-

Повышение вязкости и плотности раствора приводит к снижению очистной способности и увеличению крутящего момента на шнеке центрифуги, что вызывает необходимость уменьшения подачи питающего насоса.

кции и регулирования скорости насосного агрегата средствами механических передач и электропривода. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Буровые комплексы / под общ. ред. К.П. Порожского. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 768 с.
2. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые гидравлические машины: В 2 т. – М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2005. – Т. 1 Одновинтовые насосы. – 488 с.
3. Анализ применения и технические возможности одновинтовых насосов в экологических и энергосберегающих проектах нефтегазовой промышленности / Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, С.Е. Киршев [и др.] // Проектирование и разработка нефтегазовых месторождений. – 2019. – № 4. – С. 17–24.
4. Пронин Б.Е., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы): изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
5. M-I SWACO. 518 HV Centrifuge Replaces the Operation of Two Standard 518 Centrifuges. – Puerto Gaitán, Colombia, 2009.
6. Группа PCM: [сайт]. – URL: <https://www.pcm.eu/ru> (дата обращения 17.10.2020 г.).
7. ГОСТ 16887-71. Разделение жидких неоднородных систем методами фильтрации и центрифугирования. – М.: Стандарты, 1986.
8. Elgin Separation Solutions. HDD Solids Control Principals and Buyer's Guide. – Stafford, Texas, 2018. – 29 p.
9. Мищенко В.И., Кортуннов А.В. Приготовление, очистка и дегазация буровых растворов. – Краснодар: Арт Пресс, 2008. – 336 с.
10. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промысловых жидкостей): пер. с англ. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
11. Preston L. Moore. Drilling practices manual. – Oklahoma: PennWell Publishing Company, 1986. – 577 p.
12. ASME. Drilling fluids processing. Handbook. – Oxford: Gulf Professional Publishing, 2005. – 585 p.
13. National Oilwell Varco, L.P. The Handbook on Solids Control and Drilling Waste Management. – Houston, Texas, 2012. – 224 p.
14. Добик А.А., Мищенко В.И., Мельников В.Ф. Об очистке неутяжеленных буровых растворов центрифугами. – В кн.: Промывка скважин (технология, рецептура, материалы, осложнения, экономика). – Краснодар: ВНИИКРнефть, 1988. – С. 23–27.
15. Добик А.А. Расчет эффективности шнековых центрифуг при очистке буровых растворов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 6. – С. 13–15.
16. Книга инженера по растворам ЗАО "ССК" / В.Н. Губанов, Д.В. Лопатин, В.С. Сычев, А.А. Толстоухов. – М.: Гарусс, 2006. – 548 с.
17. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги: изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1967. – 522 с.
18. Records A., Sutherland K. Decanter centrifuge handbook. – Oxford: Elsevier, 2001. – 413 p.
19. Пат. РФ № 1764343, МПК E21B 21/06. Установка для регенерации утяжелителя буровых растворов / Мищенко В.И., Добик А.А. - Оpubл. 10.06.1996.