

УДК 622.276.012.05

А.А. Сабиров, к.т.н.; **А.В. Булат**, e-mail: avbulat87@gmail.com, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина;
А.С. Зуев, начальник отдела энергосбережения; **В.В. Коновалов**, главный специалист отдела энергосбережения, ОАО «ТНК-ВР Менеджмент»

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ СКВАЖИННЫХ СЕПАРАТОРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

ПРОБЛЕМА МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

В современных условиях существования нефтепромыслов все чаще приходится сталкиваться с факторами, осложняющими условия работы скважинного оборудования по таким основным параметрам, как коррозионная агрессивность, пескопроявление, газовый фактор, вязкость, наличие асфальто-смолопарафинистых отложений (АСПО). Поэтому при поставках скважинного оборудования для добычи нефти из скважин осложненного и часто ремонтируемого фонда, имеющих низкую наработку на отказ, необходим комплексный подход к подбору оборудования совместно работниками сервисных фирм и фирм нефтедобычи, учитывающий индивидуальный характер осложняющих факторов на скважине.

Среди вышперечисленных факторов важное значение имеет защита погружного оборудования механизированного фонда скважин от вредного влияния механических примесей. Связано это с тем, что в неконтролируемых условиях вынос КВЧ в скважину вызывает преждевременный износ элементов эксплуатационной колонны и дорогостоящего насосного оборудования и, как следствие, требует частого проведения ремонтных работ на скважине.

Основными составляющими механических примесей являются:

- породообразующие компоненты;
- продукты коррозии металла оборудования;
- незакрепившийся проппант;
- твердые вещества, образующиеся в результате химических реакций взаимодействия перекачиваемых жидкостей;
- различные включения, попадающие в скважину в процессе строительства, монтажа оборудования и ремонтных работ;
- соли, выпадающие из пластового флюида из-за изменения термобарических условий.

ВАРИАНТЫ БОРЬБЫ С МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРИМЕСЯМИ

На данный момент самыми распространенными методами борьбы с механическими примесями являются:

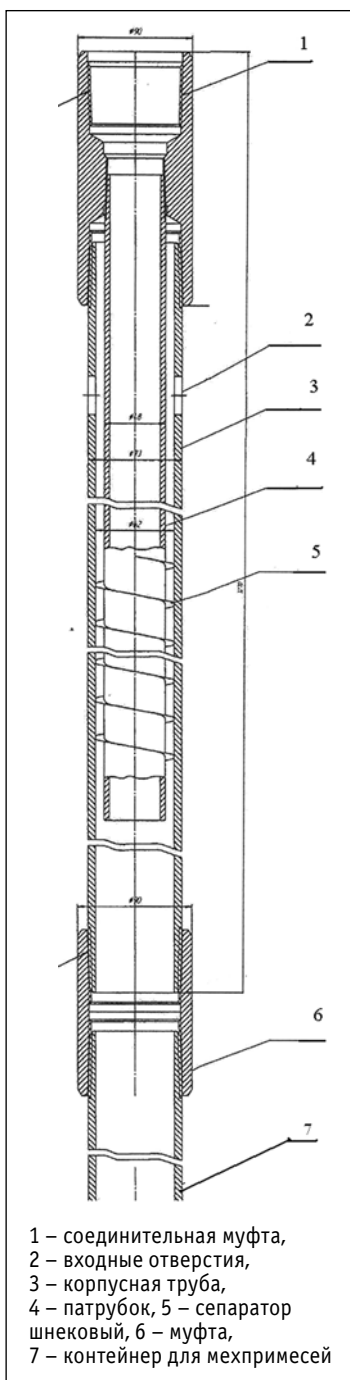


Рис. 1. Конструктивная схема сепаратора механических примесей инерционного типа

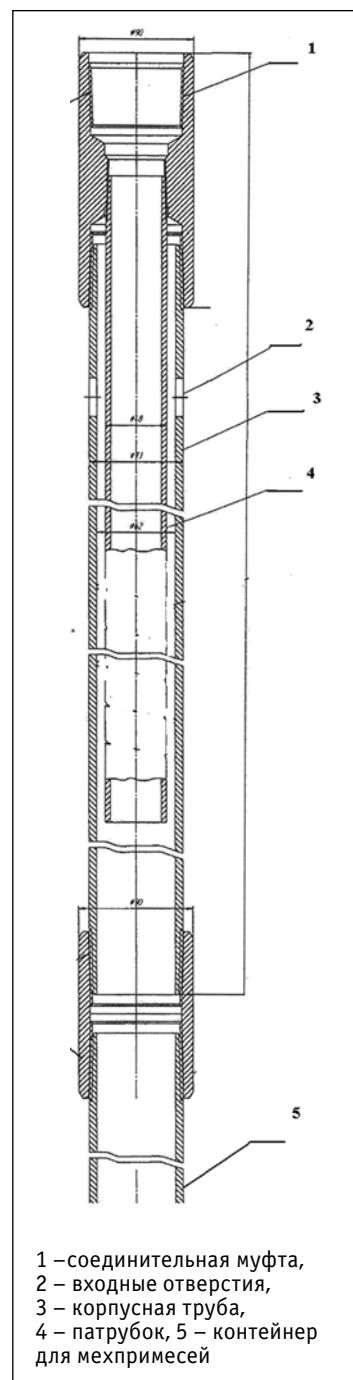


Рис. 2. Конструктивная схема сепаратора механических примесей гравитационного типа

- профилактические;
- технологические.

Технологические методы сопровождают процесс добычи нефти, а профилактические проводятся в основном при проведении подземных ремонтов скважин. Каждый из указанных методов может быть основан либо на химических, либо на физических принципах.

Для использования физических принципов часто применяется специальное исполнение насосного оборудования: выбор износостойких материалов и конструктивных схем, которые увеличивают наработку до отказа скважинного оборудования.

Однако наиболее эффективным средством борьбы с механическими примесями является использование дополнительного оборудования (фильтры тонкой очистки, камера трубной окалины, газопесочные якоря, сепараторы механических примесей).

В одной из статей (журнал «Территория НЕФТЕГАЗ» №3, март 2010 г.) был представлен анализ систем фильтрации пластового флюида, определены их основные достоинства и недостатки. В настоящем материале будут более подробно описаны возможности сепараторов механических примесей.

ТИПЫ СЕПАРАТОРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

По принципу действия различают сепараторы гравитационного («труба в трубе») и инерционного принципа действия («циклон»). Рассмотрим их подробнее. В инерционных сепараторах (рис. 1) жидкость, находящаяся в затрубном пространстве между обсадной колонной и НКТ поднимается вверх и, дойдя до входных отверстий фильтра, проходит в фильтр, при этом меняя направление на противоположное. Далее жидкость движется по кольцевому пространству, образованному внутренней стенкой НКТ и наружной стенкой приемо-выкидного патрубка, на котором навита нисходящая спираль, заходящая в пескоотводящий патрубок. На песочной спирали при движении жидкости по кругу и вниз за счет центробежных сил происходит отделение песка, который затем осаждается в накопителе (за счет гравитационных сил). Далее поток очищенной жидкости снова меняет направление

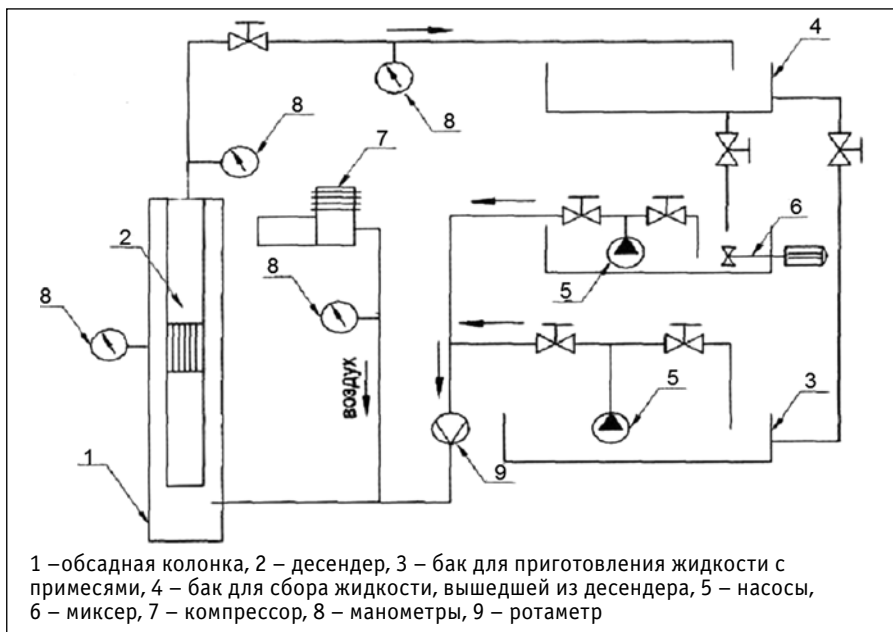


Рис. 3. Схема стенда для определения эффективности десандеров

и поднимается вверх по внутреннему каналу приемо-выкидного патрубка. Конструкция гравитационных сепараторов намного проще инерционных, в первую очередь за счет отсутствия спирали («циклонов»). В гравитационных сепараторах отделение механических примесей достигается за счет гравитационных сил при повороте потока жидкости и смене направления движения (снизу вверх и наоборот). Принципиальная схема гравитационного сепаратора представлена на рисунке 2.

В настоящее время скважинные сепараторы механических примесей для использования в составе насосных установок для добычи нефти выпускаются большим количеством российских (Группа «Борец», «АЛНАС», НПФ «Новомет-Пермь», АО «Элканефтемаш», «Спецтехника» и т.д.) и зарубежных фирм (Cavins, Weatherford). Выбрать из предлагаемых фирмами-изготовителями разработок соответствующее оборудование нефтяникам

достаточно трудно в связи с тем, что сравнение основных технических характеристик сепараторов механических примесей практически никогда не проводилось. До недавнего времени не было ни стендов, ни методик проведения испытаний для определения технических показателей скважинных сепараторов механических примесей (десандеров).

МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ СЕПАРАТОРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

В связи с многообразием условий эксплуатации и невозможностью смоделировать все эти условия на стенде (рис. 3) эффективность десандеров определяется по методике, в которой используется принцип сравнительных испытаний. Он позволяет определить эффективность работы десандеров на модельной жидкости с модельными механическими примесями в диапазоне расходов, соответствующих паспорт-

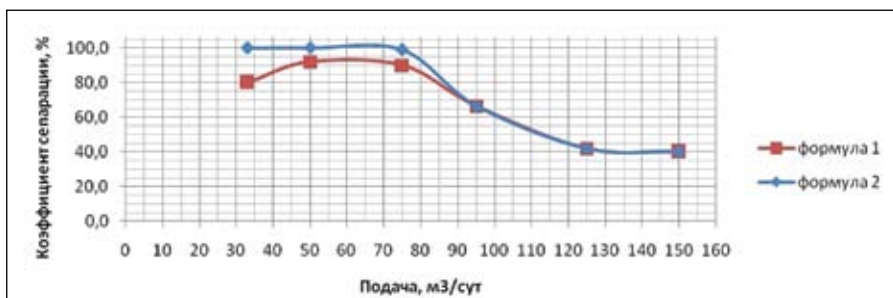


Рис. 4. Графики коэффициентов сепарации десандера в зависимости от расхода жидкости Q по различным формулам

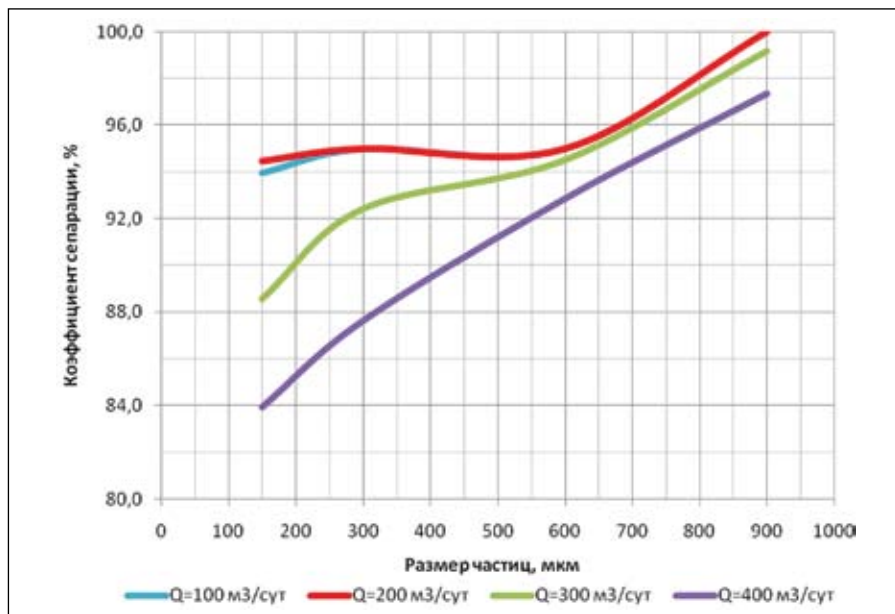


Рис. 5. Графики коэффициентов сепарации десендера инерционного типа в зависимости от размера частиц

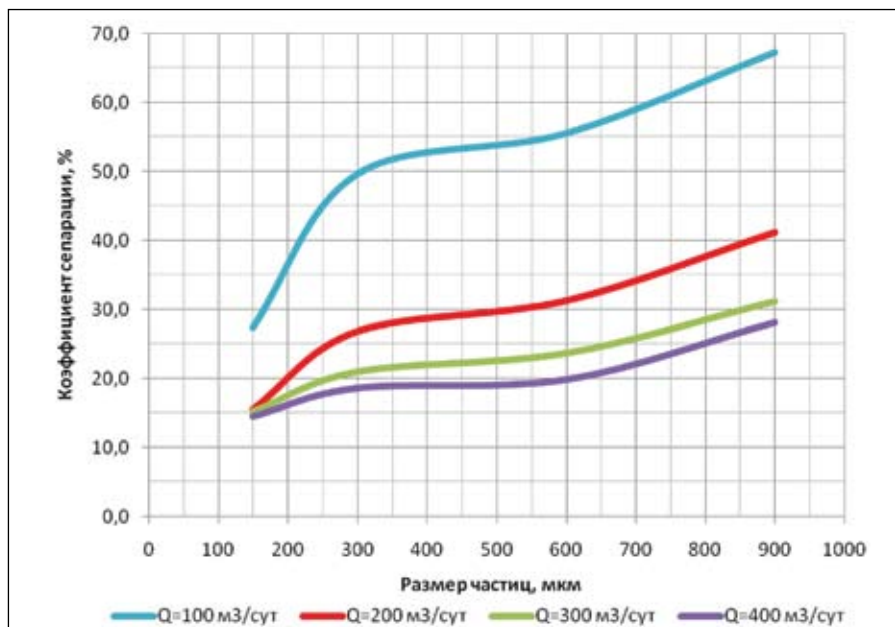


Рис. 6. Графики коэффициентов сепарации десендера гравитационного типа в зависимости от размера частиц

ным характеристикам десендеров. Под эффективностью работы десендеров понимается коэффициент сепарации модельных механических примесей из потока модельной жидкости на режимах, соответствующих паспортным характеристикам десендеров. Эффективность десендера считается тем большей, чем выше значение коэффициента сепарации механических примесей исследуемого устройства.

Коэффициент сепарации механических примесей определяется по формуле:

$$K_{\text{сеп}} = M_3 / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5), \quad (1)$$

где: M_1 – масса механических примесей в приемной камере;
 M_2 – масса механических примесей в песочной трубе;
 M_3 – масса механических примесей в шламоприемнике;
 M_4 – масса механических примесей в выкидной линии станда;
 M_5 – масса механических примесей в фильтре приемного бака станда.

Для обеспечения точных результатов общая погрешность эксперимента не должна превышать 5%. Величина погрешностей в первую очередь зависит от величин масс M_1, M_2, M_4 . Усовершенствования станда, разработанного на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, были направлены на уменьшение этих масс. Благодаря новому принципу действия приемной камеры масса M_1 в каждом эксперименте равняется 0. Новая конструкция выкидной линии обеспечивает отсутствие погрешности на выходе из установки ($M_4 = 0$). Наибольшие трудности вызывает снижение массы M_2 . Наиболее ярко влияние M_2 видно на низких диапазонах подач (до 50 м³/сут.) и особенно при испытании десендеров с большим гидравлическим сопротивлением. При больших подачах (более 100 м³/сут.) она стремится к нулю и обычно не превышает 1%.

Вычисления по формуле (1) дают некорректный результат по причине несоответствия слагаемых в формуле и данных, полученных опытным путем. Коэффициент сепарации по своей сути является выражением относительной доли массы частиц в шламоприемнике к сумме масс в шламоприемнике и в фильтре приемного бака станда. То есть формула может иметь такой вид:

Коэффициент сепарации по своей сути является выражением относительной доли массы частиц в шламоприемнике к сумме масс в шламоприемнике и в фильтре приемного бака станда. То есть формула может иметь такой вид:

$$K_{\text{сеп}} = M_3 / (M_3 + M_5)$$

Но M_4 является составной частью массы примесей, с которыми «не справился» десендер, т.к. она замеряется на выходе из него. Значит, в знаменатель необходимо добавить значение массы M_4 . Массы M_1 и M_2 , в свою очередь, замеряются до входа в сепаратор, поэтому и влиять на расчет коэффициента сепарации не должны. Как говорилось выше, масса M_1 при испытаниях на станде равна 0, а значения массы M_2 имеют существенные величины лишь при низких подачах. В конечном итоге формула должна иметь вид:

$$K_{\text{сеп}} = M_3 / (M_3 + M_4 + M_5), \quad (2)$$

Ниже приводится пример различий характера кривых коэффициента сепарации одного из десендеров при обработке результатов исследования по двум формулам (рис. 4). Данный эксперимент проводился для частиц проппанта марки «20/40».

Другим предлагаемым изменением является построение графиков зависимости коэффициента сепарации от размера частиц при постоянных подачах.

Это позволит более точно определять коэффициент сепарации для работы в скважинных условиях, когда средний размер частиц отличается от размера примесей в модельных жидкостях. В итоге должна увеличиться точность расчета объема и длины шламоборников, что позволит уменьшить вероятность их переполнения до очередного ПРС. Ниже приводятся графики работы десендеров двух типов – инерционного и гравитационного (рис. 5 и рис. 6). Можно заметить, что кривые имеют одинаковый характер. Сравнение работоспособности десендеров предлагается проводить с помощью рейтинговой системы. Заключается она в следующем.

Испытания проводятся на 6 типоразмерах примесей (3 марки проппанта, 2 фракции песка и смесь проппанта и песка). В результате обработки результатов получены графики зависимости коэффициента сепарации от подачи. При помощи пакета программ MathCad проводятся обработка графиков и получение уравнений зависимости. Представляется это в виде вычисления коэффициентов полиномы 2-й или 3-й степени (редко – 4-й). Особое внимание обращается на значение коэффициента аппроксимации R^2 . Его значение не должно быть менее 0,995.

Сам расчет сводится к наиболее точному нахождению среднего значения коэффициента сепарации на интервале исследования. Этот расчет проводится в несколько этапов:

1. Определение шага изменения ΔQ :

$$\Delta Q = \frac{Q_2 - Q_1}{n}$$

где: Q_2 – правая граница интервала исследования;
 n – количество точек, принимается равным 100.

2. Нахождение коэффициента сепарации для каждого Q_i проводится под-

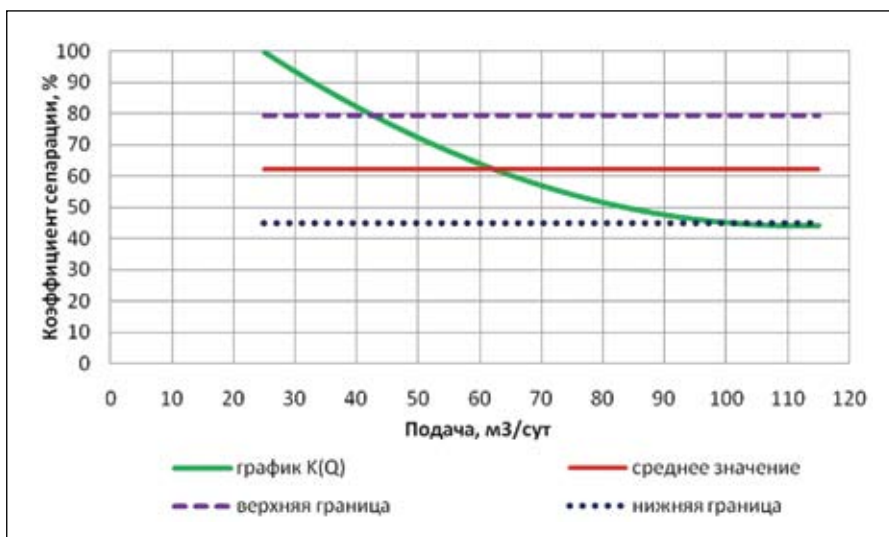


Рис. 7. Графическое отображение процесса расчета рейтинга на интервале

становкой значения Q в уравнение зависимости. В результате формируется поле значений K_i .

3. Расчет среднего значения на интервале:

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}$$

4. Расчет рейтинга на интервале:

$$R = \frac{K_{cp}}{10}$$

Максимальный рейтинг может составлять 10 единиц (баллов). Такой расчет проводится для каждого типоразмера частиц и заносится в итоговую таблицу. Затем для каждого десендера рассчитывается общий рейтинг, который дает обобщенную оценку работы устройства.

$$R_{общ} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

где m – количество типоразмеров примесей. В нашем случае $m=6$.

Полученные результаты заносятся в итоговую таблицу (табл. 1).

Так же для каждого графика рассчитывается среднее отклонение ΔK . Этот показатель характеризует интенсивность роста или спада коэффициента сепарации. В математическом виде можно для каждого графика записать значение « $K_{сеп\ ср} \pm \Delta K$ ».

Для примера, представленного на рисунке 7, рейтинг составляет 6,22. А отклонение равняется $62,2 \pm 17,2$. Это говорит о среднем разбросе величин $K_{сеп}$.

Преимуществами данной рейтинговой системы являются абсолютная объективность и информативность (зная рейтинг, можем определить среднее значение коэффициента сепарации на интервале). Для более объективной оценки сепараторов такие таблицы составляются не только на весь интервал исследования, но и на стандартные интервалы. Были приняты 4 характерных интервала подачи: до 50 м³/сут., от 50 до 100 м³/сут., от 100 до 200 м³/сут. и от 200 до 400 м³/сут.

На основании определенных значений оценивается работа устройства в каждом из этих интервалов подачи, и исходя из анализа рейтинговых таблиц по каждому интервалу даются рекомендации по рациональным областям эксплуатации того или иного устройства.

Ключевые слова: нефтедобыча, механические примеси, сепараторы механических примесей, десендеры, методы борьбы с механическими примесям, коэффициент сепарации, рейтинг десендеров.

Таблица 1.

№ десендера	16/20	20/40	30/60	100 Mech	песок 0,1 мм	Смесь	Общий	МЕСТО
Десендер 1	9,3	9,21	9,12	8,8	8,1	8,75	8,88	1
Десендер 2	9,5	9,36	9,25	8,3	7,9	8,8	8,5	2