



АНДРЕЙ БАШКИРОВ
Инженер-исследователь ИТЦ
АО «Нововет-Пермь»



СЕРГЕЙ ПЕЩЕРЕНКО
Старший научный сотрудник
ИТЦ АО «Нововет-Пермь»,
д.ф.м.н.

РАЗРАБОТКА АБРАЗИВОСТОЙКОГО ГАЗОСЕПАРАТОРА

Введение

Эффективной технологией добычи трудноизвлекаемых запасов нефти является использование газосепараторов. Подобные установки предназначены для стабильной работы погружного насоса при откачке пластовой жидкости с содержанием газа на входе до 90% при остаточном газосодержании на входе в насосную установку 25%.

В мировой практике используются газосепараторы центробежного и вихревого типа сепарации.

Принцип действия сепаратора вихревого типа основан на разделении смеси под действием свободного вихря, который образуется в вихревой камере, и центробежных сил. Примером данного устройства может являться вихревой газосепаратор, конструкция которого подобно описана в патенте [1].

Центробежные газосепараторы используют плавучесть пузырьков газа под действием центробежных сил. Так газ, имеющий меньшую массу, чем пластовая жидкость, собирается в центральной зоне, тогда как жидкость перемещается к периферии. Примером конструкции является газосепаратор, описанный в патенте [2].

Недостатком приведенных выше устройств является повышенный гидроабразивный износ рабочих органов в виду наличия в газожижкостной смеси абразивных частиц.

Постановка проблемы

Существующие конструкции газосепараторов активно подвержены абразивному износу, конкретно – происходит прорезания/перерезание защитной гильзы с корпусом, а также происходит износ лопаток рабочих органов (рис. 1).

Причиной возникновения износа являются вихри, которые возникают из-за наличия зоны разряжения за лопаткой, куда стремится жидкость из зоны высокого давления [3] для создания равновесной системы, что не является

возможным из-за наличия осевого потока и больших угловых скоростей.

Решение поставленной проблемы

Во избежание повышенного абразивного износа предлагается изменить конструкцию для смещения потока газожижкостной смеси к центральной оси, где угловые скорости вращения меньше. Это достигается путем установки сужающейся входной решетки с наклонными каналами, что позволит направить выходящий поток газожижкостной смеси, отдалив его от стенки защитной гильзы. Предлагаемое решение препятствует образованию локальных скоплений абразивных частиц и способствует увеличению поверхности износа защитной гильзы с уменьшением интенсивности ее абразивного износа.

Для достижения поставленной цели сотрудниками компании «Нововет-Пермь» была разработана идея такой конструкции (рис. 2 стр. 52), которая работает следующим образом.

При включении установки вал приводится во вращение, поток ГЖС поступает через отверстия входного модуля и движется в проходные каналы входной решетки, имеющие концентрическое сужение, где увеличивает свою скорость и выводится вблизи вала.

Выходящий из входной решетки поток попадает на центральную часть ротора, где линейные скорости ниже, чем на периферии, поэтому основная часть абразивных частиц из-за малого воздействия на них центробежной силы перемещается по ротору в осевом направлении, не контактируя с защитной гильзой. Часть выходящего потока перемещается вдоль выступа решетки, где благодаря плавному переходу на защитную гильзу будет отсутствовать зона образования вихрей.

При вращении ротора происходит центробежная сепарация смеси на жидкую и газовую фазу. При наличии направляющего аппарата поток попадает в него, увеличивает свою скорость в осевом направлении и

Рис. 1. Внешний вид рабочих органов, подверженных гидроабразивному износу:
а – входная решетка; б – защитная гильза



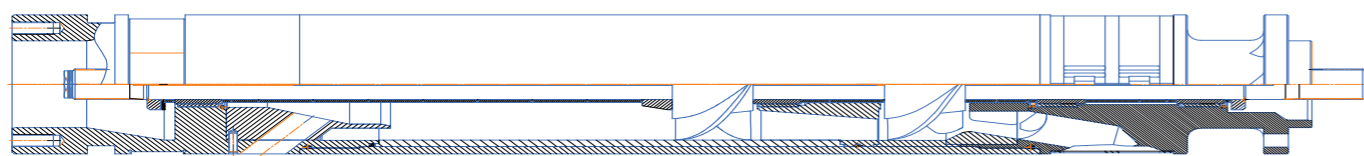


Рис. 2. Общий вид центробежного газосепаратора

поступает на вышерасположенную вторую ступень сепарации. Газовая фаза и часть абразивных частиц через головку-разделитель выводится в затрубное пространство, а жидкая фаза с периферии подается на прием добывающего насоса [4].

Численный расчет предложенного решения

Для оценки работоспособности представленной конструкции были проведены численные расчеты старой конструкции и измененной в программном комплексе ANSYS со следующими входными параметрами:

- Подача воды на входе: $Q_{вх} = 750 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- Расход воды через отверстия для газа: $Q_{вых.газа} = 75 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- Концентрация песка: $C_n = 10 \text{ гр/л}$;
- Фракционный состав песка:
 - $d_n=10...20 \text{ мкрн}$ – 50%,
 - $d_n=700...800 \text{ мкрн}$ – 50%;
- Частота вращения: $n = 2910 \text{ об/мин}$.

Для моделирования течения воды с частицами песка использовалась модель Лагранжа (Lagrangian particle tracking или LPT) [5]. Считали, что со стороны жидкости на частицы действуют сила гидродинамического сопротивления, сила Архимеда и силы, обусловленные эффектом присоединенной массы. Также учитывалась сила тяжести. Взаимодействие частиц друг с другом не учитывалось.

Для моделирования эрозионного износа была выбрана модель Финни (Finnie) [5, 6]. Для данного типа материала элементов газосепаратора (легированная сталь) были получены константы модели эрозии: $n = 2$, $u_0=1150 \text{ м/с}$.

По результатам моделирования было выявлено, что картина эрозионного износа в серийной (Рис. 3а) и предлагаемой конструкции (Рис. 3б) отличаются. Значения максимальной и средней плотности эрозионного износа для новой конструкции газосепаратора ниже серийной от 3 до 8 раз (таблица 1), что говорит о работоспособности предложенной конструкции.

Таблица 1. Максимальные и средние значения плотности эрозионного износа

Элемент	Максимальная плотность эрозии, $\text{кг/м}^2/\text{с}$		Средняя плотность эрозии, $\text{кг/м}^2/\text{с}$	
	Серийная конструкция	Предлагаемая конструкция	Серийная конструкция	Предлагаемая конструкция
Лопатки решетки	0.011	0.003	$0.056 \cdot 10^{-4}$	$0.007 \cdot 10^{-4}$
Лопасты направляющего аппарата	0.056	0.024	$6.232 \cdot 10^{-4}$	$2.671 \cdot 10^{-4}$
Лопасты 1 рабочего колеса	0.625	0.490	$0.446 \cdot 10^{-4}$	$0.350 \cdot 10^{-4}$
Лопасты 2 рабочего колеса	0.156	0.148	$0.481 \cdot 10^{-4}$	$0.403 \cdot 10^{-4}$
Гильза в месте решетки	0.008	0.003	$0.039 \cdot 10^{-4}$	$0.018 \cdot 10^{-4}$
Стакан направляющего аппарата	0.231	0.024	$0.215 \cdot 10^{-4}$	$0.131 \cdot 10^{-4}$
Гильза в месте 1 рабочего колеса	0.563	0.113	$3.782 \cdot 10^{-4}$	$0.759 \cdot 10^{-4}$
Гильза в месте 2 рабочего колеса	0.153	0.105	$1.443 \cdot 10^{-4}$	$1.147 \cdot 10^{-4}$
Гильза в вихревой камере	0.065	0.067	$5.897 \cdot 10^{-4}$	$6.201 \cdot 10^{-4}$

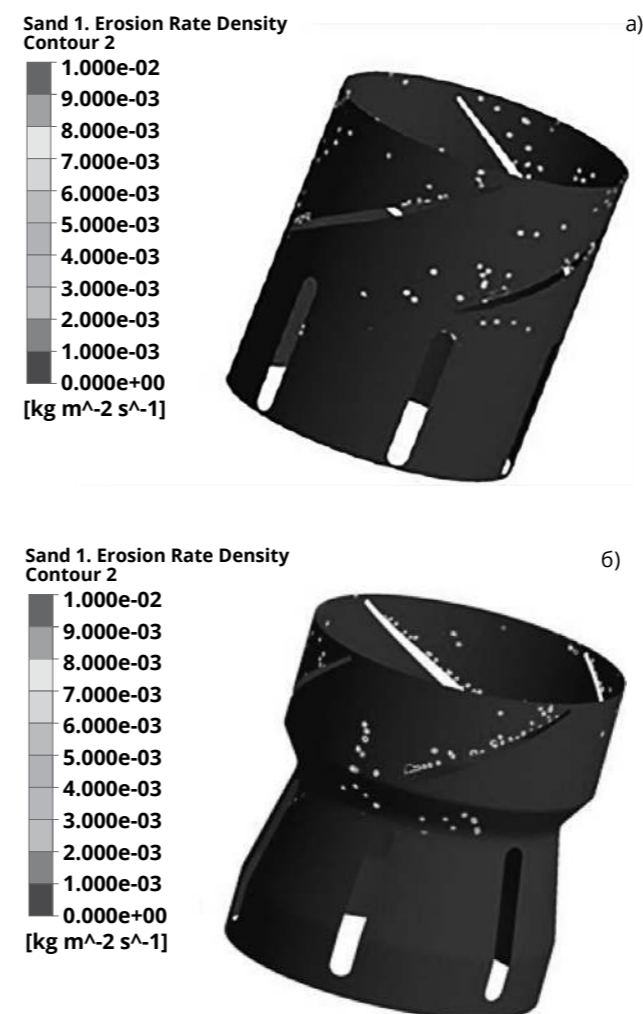
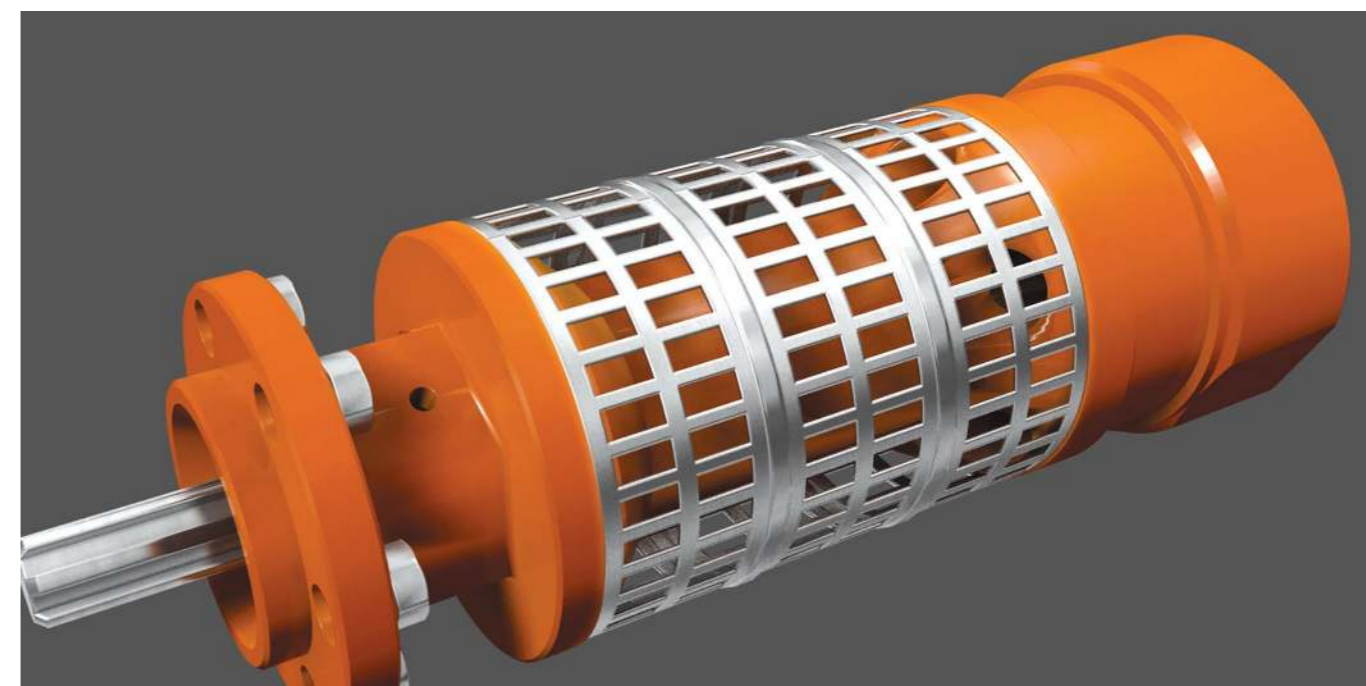


Рис. 3. Картина эрозионного износа в месте гильзы между входной решеткой и первым рабочим колесом: а – исходная конструкция; б – предлагаемая конструкция



Список литературы

1. Пат. 2660972 Российская Федерация, МПК E21B 43/38. Вихревой газосепаратор / Пещеренко М. П.; заявитель и патентообладатель акционерное общество «Нововет-Пермь» – № 2017133195; заявл. 22.09.2017; опубл. 11.07.2018, Бюл. № 20.
2. Пат. 2696040 Российская Федерация, МПК E21B 43/38. Абразивостойкий роторный газосепаратор / Пещеренко М.П.; заявитель и патентообладатель акционерное общество «Нововет-Пермь» – № 2018141445; заявл. 26.11.2018; опубл. 30.07.2019, Бюл. № 22.
3. Конспект лекций по дисциплине Б1.В.ОД.1 «Специальные разделы внутренней аэродинамики газотурбинных двигателей» URL: <https://www.rsatu.ru/upload/medialibrary/59f/Lektsii-spetsialnye-razdely.pdf>
4. Пат. 2775246 Российская Федерация, МПК E21B 43/38. Центробежный абразивостойкий газосепаратор / Башкиров А.С.; заявитель и патентообладатель акционерное общество «Нововет-Пермь» – № 2021133050; заявл. 12.11.2021; опубл. 28.06.2022, Бюл. № 19.
5. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Release 18.0. Ansys Inc., 2016.
6. I. Finnie, «Erosion of Surfaces by Solid Particles.» WEAR, Vol. 3, pp. 87-103, 1960.