

Э.М. Деканоидзе^{1,2}, М.А. Скотникова¹

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия, imil95g@mail.ru

²ООО «Центротех-Инжиниринг», Санкт-Петербург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ (ИЗНОСА) КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДЕКАНТЕРА

Аннотация

В работе представлены результаты формирования критического износ цилиндрических поверхностей сопел центробежного декантера методом дискретных элементов. Выполнена аналитическая оценка ресурса цилиндрических поверхностей сопел для различных конструктивных вариантов.

Ключевые слова: центробежный декантер, расчёт износа металла, дискретно-элементное моделирование.

Введение

В процессе бурения скважин буровой раствор выполняет критически важные функции: охлаждение и смазка бурового инструмента, снижение трения и транспортировка разрушенной породы на поверхность. Однако в процессе эксплуатации раствор постепенно насыщается твердыми частицами грунта, что ухудшает его эксплуатационные характеристики и негативно влияет на ход бурения. Для устранения данной проблемы применяются центробежные декантеры — центрифуги с регулируемыми параметрами работы, которые обеспечивают адаптацию оборудования к разным типам растворов и условиям бурения за счет гибкой настройки скоростных режимов.

Очистка бурового раствора с помощью центробежных декантеров способствует снижению механического износа бурового инструмента и насосных агрегатов, так как минимизирует присутствие абразивных частиц в системе.



Рисунок 1 – Общий вид центробежного декантера

Однако в процессе декантирования основным элементом конструкции центробежного декантера, который подвержен повышенному износу это сопла, находящиеся на конической части барабана [1- 10] (рисунок 2).

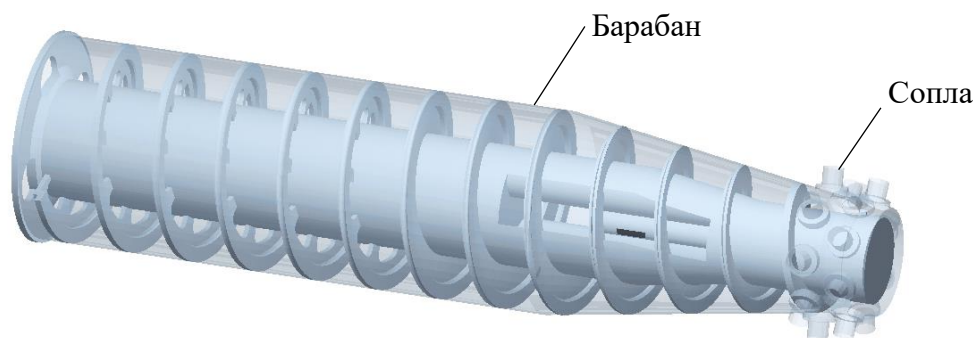


Рисунок 2 – Расположение сопел на барабане декантера

Учитывая высокую значимость конструктивных элементов центробежных декантеров как сопела для эффективности процесса очистки бурового раствора и их уязвимость к абразивному воздействию, было проведено моделирование формирования критического износа цилиндрических поверхностей сопел методом дискретных элементов. Выполнена аналитическая оценка ресурса цилиндрических поверхностей сопел для различных конструктивных вариантов.

Методы и материалы

Для достижения поставленной цели использовались цифровые методы построения дискретно-элементных моделей.

Результаты и обсуждение

Для проведения исследования использовалась исходная конструкция сопел центробежного декантера, а также три варианта модифицированных конструкций, представленных на рисунке 3.

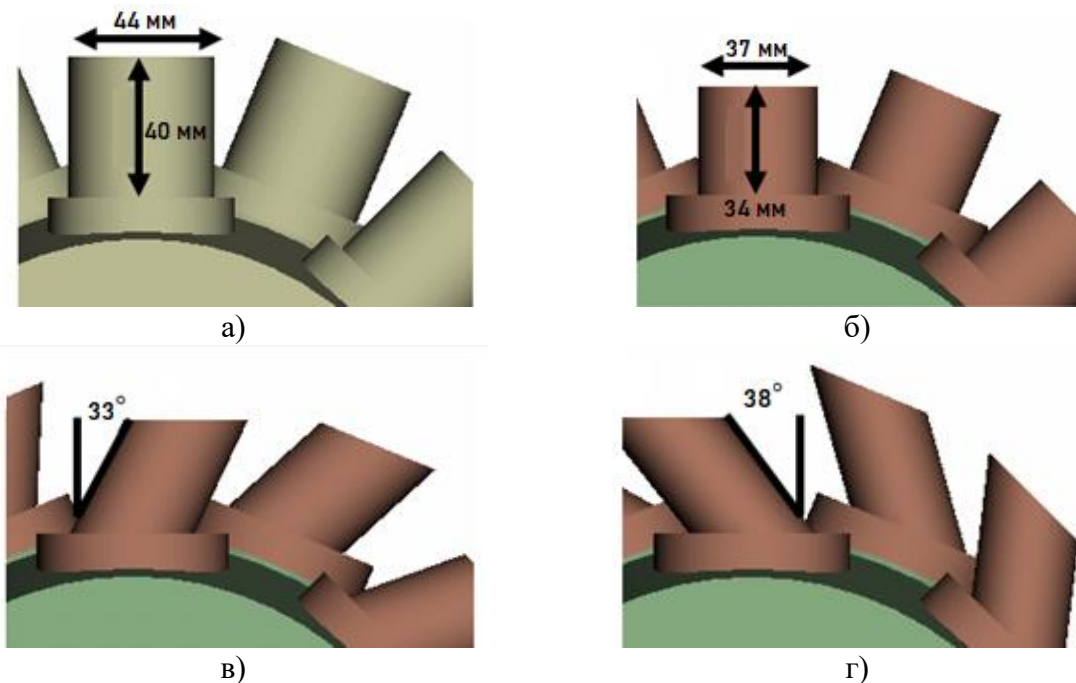


Рисунок 3 – Модификации поверхностей сопел расчетных вариантов (а - исходный вариант конструкции, б - модифицированный вариант конструкции, в - вариант конструкции со сдвинутым направлением сопел в сторону по движению барабана, г - вариант конструкции со сдвинутым направлением сопел в сторону против движения барабана)

Скорости частиц при вылете из сопел для четырех вариантов ориентации представлены в таблице 1. Наибольшие скорости наблюдаются при ориентации сопел по движению барабана, а минимальные – при ориентации против движения.

Таблица 1 — Скорости вылетающих частиц

	Тип ориентации сопла			
	Исходная конструкция	Модифицированная конструкция	Ориентация по движению	Ориентация против движения
Скорость частиц при вылете, м/с	47 м/с	41 м/с	50 м/с	30 м/с

При расчете времени до формирования критического повреждения (износа) сопла процесс можно рассматривать по аналогии с гидроабразивной обработкой материала [11]. На рисунке 4 показана схема износа поверхности, а на рисунке 5 результат износа, полученный в результате натурных испытаний в сравнении с результатами математической дискретно-элементной моделью

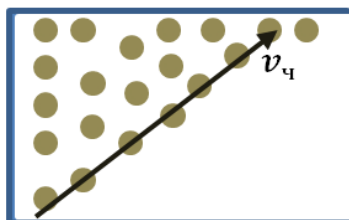
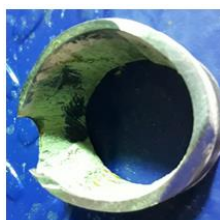


Рисунок 4 – Схема формирования критического повреждения (износа) цилиндрической поверхности сопла твердыми частицами грунта



а)



б)

Рисунок 5 – Результат формирования критического повреждения (износа) сопел, полученный в результате а) - натурных испытаний в сравнении с б) - математической дискретно-элементной моделью

Для расчета объема снятого материала «изнашиваемой», поверхности при ударе одной частицей использовалась методика Непомнящего Е.Ф. [12]:

$$V_1 = 15.5 k_c R^3 \left(K_T \sin \beta v_{\text{ч}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}}}{3 c \sigma_s}} \right)^{\frac{5}{2}} \left(\frac{1}{\tan \beta} - f \right) \quad (1)$$

где k_c - коэф. стружкообразования, c – коэф. несущей способности контактной поверхности ($1 \div 6$), K_T - коэф. условий взаимодействия в зоне контакта, σ_s - предел текучести материала, f – коэф. пропорциональности, β - угол падения частицы, $\rho_{\text{ч}}$ - плотность частицы.

Параметры, принимаемые при расчете ресурса, приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Параметры при расчете ресурса поверхностей сопла

Параметр	Исх. констр.	Мод. констр.	Сопла по движению	Сопла против движения
k_c - коэф. стружкообразования	0.4	0.4	0.4	0.4
R.мм – радиус частиц	3	3	3	3
c – коэф. несущей способности контактной поверхности ($1 \div 6$)	6	6	6	6
K_T - коэф. условий взаимодействия в зоне контакта	0.5	0.5	0.5	0.5

Параметр	Исх. констр.	Мод. констр.	Сопла по движению	Сопла против движения
β – угол падения частиц от нормали к поверхности, °	45	45	30	80
σ_s – предел текучести материала, МПа	260	260	260	260
f – коэф. пропорциональности	0.1	0.1	0.1	0.1
$\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, г/см ³	2.4	2.4	2.4	2.4
Скорость частиц при ударе, м/с	47	41	50	30

В итоге определён расход материала при ударе одной частицей, а также время, за которое износ будет равен 2700 мм³, что соответствует объёму износа, представленному на рисунке 6.

Для расчётов использовались зависимости:

$$\vartheta = \frac{\Delta V}{\Delta t} = V_1 * \frac{q}{m_0} \quad (2)$$

где q – расход бурового раствора в час (31752 кг/ч), m_0 – масса одной частицы ($5.14 \cdot 10^{-5}$) и

$$T = \frac{V_{\text{исп}}}{\vartheta} \quad (3)$$

где $V_{\text{исп}} = 2700$ мм³ – размер критического объемного износа материала сопла из эксперимента (определен по результатам опытной эксплуатации оборудования)

Полученные результаты приведены в таблице 3 и рисунке 3.

Таблица 3 — Параметры при расчете ресурса поверхностей сопла

Характеристика	Исх. конструкция	Мод. конструкция	Сопла по движению	Сопла против движения
$V_{\text{за один удар}}$, мм ³	$1.2 \cdot 10^{-8}$	$8.5 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-9}$
$V_{\text{за час}}$, мм ³	7,41	5,25	8,64	0,59
$T_{\text{износа}}$, Ч	364.4	514.3	312.5	4583,7



Рисунок 6 — Сравнение ресурса конструктивных модификаций сопел барабана центробежного декантера, в соответствии с рисунком 3

Заключение

По итогам проведенной работы, можно сделать выводы:

1. Время формирования критического повреждения (износа) сопел исходной конструкции до уровня, показанного на рисунке 6, соответствует 364 ч непрерывной работы, что соответствует проведенным натурным испытаниям.

2. Модифицированная конструкция сопел увеличивает время износа поверхности в 1,5 раза.

3. Значительное увеличение срока службы достигается при изменении наклона цилиндрических поверхностей сопел против движения, что минимизирует соударения частиц. Время износа поверхности сопел увеличивается в 12,5 раз.

Результаты демонстрируют, что оптимизация конструктивных решений в сочетании с дискретно-элементным моделированием позволяет существенно повысить ресурс оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деканоидзе Э.М., Юдаков В. С., Мухтаров М.Ш. Исследование влияния фильтрата бурового раствора на прочностные характеристики горных пород // Международный научно-исследовательский журнал – 2020. – №7-1 – С. 125-129.
2. Башкирцев, В.И. Научные представления об адгезии / В.И. Башкирцев, Л.А. Юдицкий // Сервис в России и за рубежом. – 2012. – № 3 (30). – С. 216-223.
3. Юдаков В. С., Деканоидзе Э.М., Мухтаров М.Ш., Тиличкан А.А. Исследование влияния зенитного угла наклонно-направленной скважины на напряженно-деформированное состояние околоскважинного пространства // Международный научно-исследовательский журнал – 2020. – №8-1 – С. 157-162.
4. Юдаков В. С., Деканоидзе Э.М. Создание алгоритма для выполнения расчетов устойчивости стенок наклонно-направленной скважины с помощью MATCAD // Актуальные научные исследования в современном мире – 2020. – № 7-2 – С. 147-152.
5. Деканоидзе Э.М. Исследования процесса центробежного обезвоживания осадков сточных вод // Трибология и проблемы МЧС России – 2022. – С. 23-27
6. Юдаков В. С., Деканоидзе Э.М. Исследование поведения работы планетарной передачи по средствам анализа в среде MATLAB // Оригинальные исследования – 2020. – №10-6 – С. 213-217.
7. Деканоидзе Э.М. Разработка алгоритма и написание программ для выполнения расчетов с помощью MATLAB // Актуальные научные исследования в современном мире. - 2020. - № 7-1 (63). - С. 50-53.
8. М.В. Нуцкова, Д.А. Сидоров, Д.Э. Тсикплону, Г.М. Сергеев, Н.И. Васильев. Исследования буровых растворов на углеводородной основе для первичного вскрытия продуктивных пластов. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2019. Т.19, №2. С.138-149. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.4
9. Юдаков В. С., Деканоидзе Э.М. Обзор отечественного программного обеспечения для разработки технологического процесса машиностроения. Актуальные научные исследования в современном мире. - 2020. - № 6-1 (62). - С. 156-161.
10. Юдаков В. С. Деканоидзе Э.М. Сравнительный анализ вариантов решения размерных цепей традиционным методом и с помощью САПР. Оригинальные исследования. - 2020. - Т. 10. - № 6. - С. 253-259.
11. Ющенко, А. В. Исследование процесса съема металла при абразивной галтовке / А. В. Ющенко, М. Б. Флек // Вестник Донского государственного технического университета. — 2013. — Т. 13, № 3-4. — С. 125-133.
12. Непомнящий, Е.Ф. Трение и износ под воздействием струи твердых сферических частиц // Контактное взаимодействие твердых тел и расчет сил трения и износа. — М.: Наука, 1971. — С.190 —200

E.M. Dekanoidze^{1,2}, M.A. Skotnikova

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russia, imil95g@mail.ru

²ООО «Centrotech-Engineering», St. Petersburg, Russia

MODELING OF THE FORMATION OF CRITICAL DAMAGE (WEAR) OF STRUCTURAL ELEMENTS OF A CENTRIFUGAL DECANter

Abstract

The paper presents the results of the formation of critical wear of cylindrical surfaces of centrifugal decanter nozzles by the method of discrete elements. An analytical evaluation of the resource of cylindrical nozzle surfaces for various design options has been performed.

Keywords: centrifugal decanter, calculation of metal removal, discrete element modeling.