

# Зависимость средней наработки узла гидروطы до отказа от различных факторов для секционных насосов АК «АЛРОСА»

## (Dependence of the Mean Time to Failure of a Hydraulic Balancing Machine Unit on Different Factors for Sectional Pumps of the Alrosa JSC)

**Авторы: Овчинников Н.П., Портнягина В.В., Собакина М.П., СВФУ (г. Якутск)**

Опыт эксплуатации насосного оборудования подземных кимберлитовых рудников АК «АЛРОСА» показывает, что отличительной чертой секционных насосов, смонтированных в насосных камерах главного водоотлива подземных кимберлитовых рудников «Удачный» и «Мир» является низкая средняя наработка до капремонта Т.

Одними из наиболее негативных последствий низкой величины Т являются значительные финансовые затраты на приобретение дорогостоящих базовых деталей (рабочих колес, вала и др.), составляющие от 2 до 5 миллионов рублей на один насос, в зависимости от его степени изношенности и модели. Ежегодно на производство капремонтов секционных насосов главного водоотлива вышеуказанных рудников суммарно затрачивается до 20 миллионов рублей.

В связи с регулярным сокращением денежных средств на эксплуатацию технологического и вспомогательного оборудования констатируем, что повышение межремонтных периодов работы секционных насосов главного водоотлива подземных кимберлитовых рудников «Удачный» и «Мир» является одной из приоритетной задач для руководства Удачинского и Мирнинского ГОКов (далее УГОКа и МГОКа).

Обработка статистического материала показала, что в условиях подземных кимберлитовых рудников «Удачный», «Интер» и «Мир» средний ресурс секционного насоса до капремонта К в определенной степени коррелирует со средней наработкой узла гидروطы до отказа t (рис. 1).

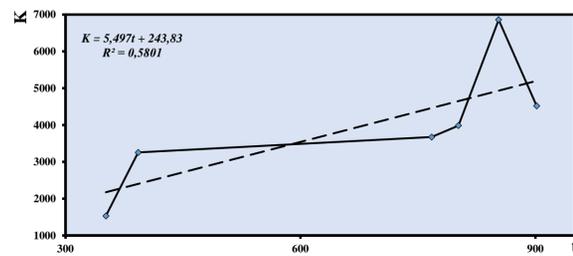


Рис. 1. Зависимость K от t

Данная установленная закономерность (см. рис. 1) объясняется тем, что ухудшение технического состояния узла гидروطы сопровождается ростом осевого смещения ротора насоса, вследствие чего, его вращающиеся детали начинают задевать неподвижные корпусные. Последствием частого трибоконтакта является преждевременный выход из строя значительного числа роторных деталей, что является серьезным основанием для производства капремонта насоса.

Кроме того факта, что долговечность узла гидروطы в определенной степени определяет частоту проведения капремонтов секционных насосов подземных кимберлитовых рудников, данный узел еще является наиболее отказывающим элементом в конструкции этих насосов (табл. 1).

Таблица 1. Распределение отказов секционных насосов подземных кимберлитовых рудников по конструктивным элементам (на 03.12.2016 г.)

Конструктивный элемент (узел или деталь)	Количество отказов
Узел гидروطы*	153
Подшипниковый узел	59
Торцевое или сальниковое уплотнение	5
Гайка ротора	2
Рубашка вала	1
Труба разгрузки	1

Примечание: \* – В зависимости от места эксплуатации насоса средняя наработка узла гидروطы до отказа t колеблется в диапазоне 351,6 ч...901,6 ч.

Представительный практический материал свидетельствует, что в условиях подземных кимберлитовых рудников АК «АЛРОСА» наиболее распространенным дефектом узла гидروطы является интенсивный гидроабразивный износ кольца и диска гидروطы.

Опросы работников подземных энергомеханических участков МГОКа и УГОКа, анализ различной технической документации по эксплуатации секционных насосов на подземных кимберлитовых рудниках, а также ряд литературных источников свидетельствуют, что высокая скорость гидроабразивного изнашивания кольца и диска гидروطы, обуславливающая низкую среднюю наработку узла гидروطы до отказа t, главным образом является результатом воздействия на секционные насосы следующей группы факторов:

- ✦  $X_1$  – содержание твердых частиц в шахтной воде размером более 0,2 мм, г/л;
- ✦  $X_2$  – микротвердость нерастворимых частиц, ГПа;
- ✦  $X_3$  – минерализация шахтной воды, г/л;
- ✦  $X_4$  – водородный показатель шахтной воды;
- ✦  $X_5$  – развиваемый насосом напор, м;
- ✦  $X_6$  – суточная наработка насоса, ч;
- ✦  $X_7$  – время разгона и торможения насосного агрегата, с.

Целью настоящей работы является установление с помощью корреляционно-регрессионного анализа наиболее значимых факторов из числа  $X_1...X_7$ , влияющих на среднюю наработку узла гидروطы секционных насосов водоотливных установок (см. рис. 1) подземных кимберлитовых рудников до отказа t, борьба с которыми в дальнейшей перспективе позволит повысить межремонтные периоды работы этих насосов, в частности насосов главного водоотлива подземных кимберлитовых рудников «Удачный» и «Мир», что как ранее было сказано является одной из приоритетных задач для руководства УГОКа и МГОКа АК «АЛРОСА».

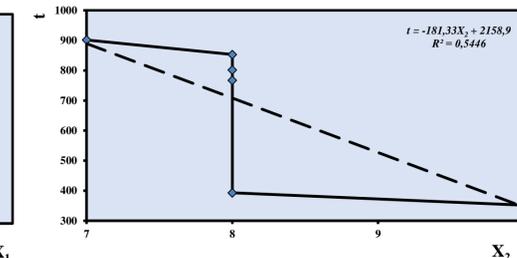
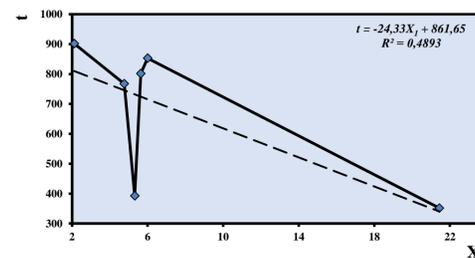


Рис. 2. Зависимость t от фактора  $X_1$  (А) и фактора  $X_2$  (Б)

Результаты физико-химического анализа проб шахтных вод, взятых из водосборников подземных кимберлитовых рудников «Удачный», «Интер» и «Мир» свидетельствуют, что в зависимости от места сбора пробы концентрация осевшего твердого материала в общем объеме отобранной жидкости варьируется от 0,43 до 4,27 %, что в массовом эквиваленте составляет от 5,3 до 52,3 г/л.

Во всех взятых пробах шахтных вод механические примеси размером более 0,2 мм составляют примерно 40 % от всего объема осевшего твердого материала.

Микротвердость  $X_2$  осевших механических примесей лежит в диапазоне 7...10 ГПа.

Выполненные исследования показали, что шахтные воды подземных кимберлитовых рудников не соответствуют нормативным требованиям.

Несмотря на то, что факторы  $X_1$  и  $X_2$  принято считать основными факторами, влияющими на скорость гидроабразивного изнашивания деталей центробежных насосов, в условиях подземных кимберлитовых рудников они с величиной t не имеют тесной взаимосвязи (рис. 2 а и б).

Как известно, гидроабразивный износ деталей центробежных насосов является результатом совместного суммарного воздействия эрозийного, абразивного, кавитационного и коррозионного разрушения, где скорость протекания последнего вида разрушения зависит от минерализации  $X_3$  и водородного показателя перекачиваемой жидкости  $X_4$ .

Исследованные шахтные воды являются не только сильнозагрязненными, но и химически активными средами, так как представляют собой рассолы которым из-за значительного содержания в их составе ионов  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  (табл. 2) свойственна повышенная агрессивность к металлу с низкими антикоррозионными свойствами.

Таблица 2. Средневзвешенная концентрация химических элементов и соединений в шахтных водах, вызывающих коррозию металла, г/л

Рудник	Na + K	Cl	SO <sub>4</sub>
«Удачный»	38,3	218,7	0,4
«Интер»	39,2	61,7	1,3
«Мир»	42,5	65,2	5,7

По водородному показателю  $X_4$  шахтные воды подземных кимберлитовых рудников «Мир» и «Интер» являются нейтральными и слабощелочными водами ( $X_4 = 7,2...8,6$ ), а шахтные воды подземного кимберлитового рудника «Удачный» – слабокислыми ( $X_4 = 5,9$ ).

Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали, что в условиях подземных кимберлитовых рудников минерализация шахтной воды  $X_3$  и водородный показатель  $X_4$  лишь умеренно влияют на величину t (рис. 3 а и б), на что имеется ряд объяснений:

- ✦ В работе [15] отмечается, что вода с водородным показателем  $X_4 = 4,3...10$  практически не влияет на скорость коррозионного разрушения элементов насосного оборудования, а соответственно и на скорость протекания гидроабразивного износа;
- ✦ Большая часть секционных насосов подземных кимберлитовых рудников представлена насосами коррозионностойкого исполнения (20 из 30 исследованных).

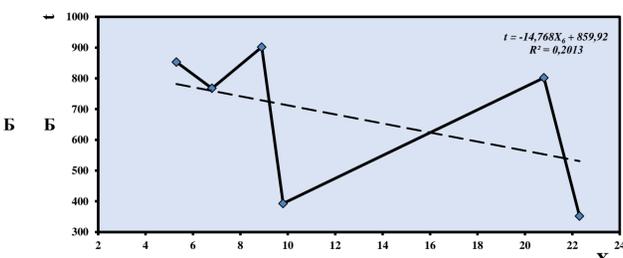
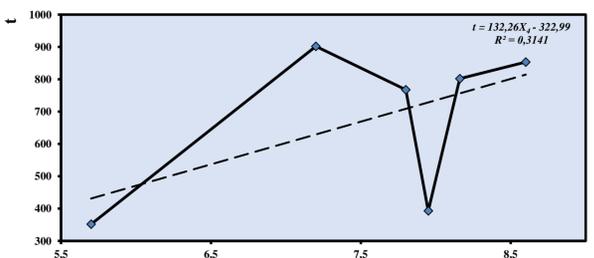
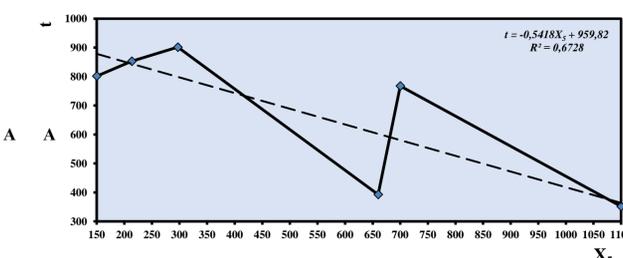
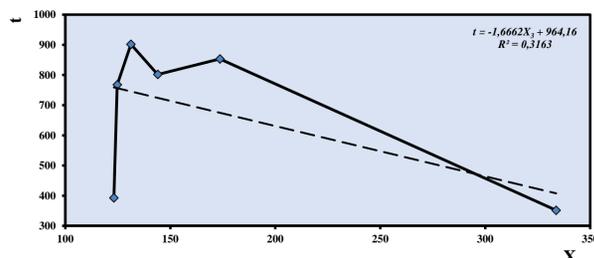


Рис. 3. Зависимость t от фактора  $X_3$  (а) и фактора  $X_4$  (б)

В условиях подземных кимберлитовых рудников «Удачный», «Интер» и «Мир» наиболее частые отказы узла гидروطы отмечаются у секционных насосов, обладающих наибольшей напорностью ( $X_5 = 660...1100$  м), т.е. у насосов водоотливных установок КГВ (подземный рудник «Удачный»), КГВ-1 и КГВ-2 (подземный рудник «Мир»).

Результаты корреляционно-регрессионного анализа свидетельствуют, что величина t имеет заметную взаимосвязь с фактором  $X_5$  (рис. 4 а). В связи с этим, констатируем, что при откачке загрязненной шахтной воды на скорость гидроабразивного износа деталей узла гидروطы определенно влияет развиваемый насосом напор  $X_5$ .

Анализ карт учета водоотлива подземных кимберлитовых рудников показал, что секционные насосы, смонтированные в их горных выработках, имеют разную интенсивность использования в сутки (далее суточную наработку  $X_6$ ), что возможно является основной причиной разброса величины t.

Как видно из рис. 4 б, в условиях подземных кимберлитовых рудников суточная наработка  $X_6$ , не влияет на долговечность узла гидروطы.

Опыт эксплуатации секционных насосов водоотливной установки КГВ-2 показал, что на скорость гидроабразивного износа узла гидروطы влияет время разгона и торможения насосного агрегата  $X_7$ . При длительном (20 с) разгоне и торможении насосного агрегата происходит активное задевание диска за кольцо гидروطы в связи с уменьшением потока воды, выходящей из разгрузочной камеры.

В связи с тем, что насосные агрегаты на подземных кимберлитовых рудниках имеют различные значения фактора  $X_7$ , то установление взаимосвязи между данным фактором и величиной t вызывает определенный интерес.

Согласно результатам корреляционно-регрессионного анализа, между вышеуказанным фактором и величиной t имеется заметная взаимосвязь (см. рис. 4 в).

Проверка на достоверность всех полученных корреляционно-регрессионных моделей по уровню значимости критерия Фишера (далее значимости F) показала, что модели, представленные на рисунках 2, б и 4, а и в (модели с наибольшим коэффициентом детерминации  $R^2$ ), являются адекватными (табл. 3).

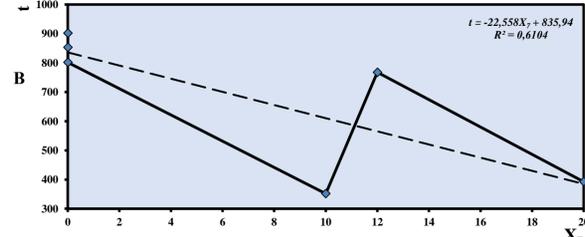


Рис. 4. Зависимость t от фактора  $X_5$  (а), фактора  $X_6$  (б) и фактора  $X_7$  (в)

Таблица 3. Результаты регрессионной статистики

Фактор	Коэффициент детерминации $R^2$	Значимость F
$X_1$	0,489	0,122
$X_2$	0,545	0,094
$X_3$	0,316	0,245
$X_4$	0,314	0,247
$X_5$	0,673	0,045
$X_6$	0,201	0,372
$X_7$	0,610	0,066

В дальнейшем, на основании полученных результатов исследований была установлена многофакторная линейная зависимость средней наработки узла гидروطы до отказа от различных факторов для секционных насосов, эксплуатируемых на подземных кимберлитовых рудниках АК «АЛРОСА» (табл. 4).

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлены факторы, которые в большей степени влияют на среднюю наработку узла гидروطы до отказа в условиях подземных кимберлитовых рудников АК «АЛРОСА». Кроме этого, получена многофакторная линейная зависимость средней наработки узла гидروطы до отказа от различных факторов для секционных насосов подземных кимберлитовых рудников АК «АЛРОСА», которая позволяет в перспективе прогнозировать долговечность наименее надежного конструкционного элемента секционного насоса.

Таблица 4. Зависимость средней наработки узла гидروطы до отказа от различных факторов

Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации $R^2$	Значимость F
$Y = -108,13X_8 - 65,21X_2 - 0,26X_7 + 1712,1$	0,937	0,092