

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕПАРАТОРА СКВП-20 ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ «ПЕЧОРСКАЯ» ОАО «ВОРКУТАУГОЛЬ»

Хачатрян С.А.<sup>1</sup>, Задков Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет «МАМИ» (107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38), e-mail: samveljan.hachatryan@mail.ru;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2), e-mail: dzadkov@yandex.ru

---

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований надежности тяжелосредних сепараторов СКВП-20 обогатительной фабрики «Печорская» ОАО «Воркутауголь». В результате наблюдений в реальном времени, установлены следующие основные причины отказа тяжелосреднего сепаратора: перегруз двигателя, обрыв лепестковой передачи, очистка технологического трубопровода. Предложена математическая модель, которая позволяет оценивать надежность с большой вероятностью. Определен закон распределения времени безотказной работы и времени восстановления тяжелосредних сепараторов СКВП-20. В результате исследований установлено, что эффективная работа сепаратора возможна только при наличии обслуживающего персонала. Полученные результаты имеют практическую значимость и рекомендованы по работе такого класса сепараторов. Предложенный метод может быть использован при оценке надежности существующих или вновь вводимых тяжелосредних сепараторов.

Ключевые слова: надежность, эксплуатация, техническое обслуживание, теоретические и экспериментальные исследования, сепаратор тяжелосредний, обогащение, обогатительная фабрика, отказ, математическая модель, теория вероятности, закон распределения, безотказная работа, восстановление.

## SINK-FLOAT SEPARATOR RELIABILITY ANALYSIS OF «PECHORSKAYA» CENTRAL DRESSING PLANT, «VORKUTAUGOL»

Hachatryan S.A.<sup>1</sup>, Zadkov D.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow State Machinery University «MSMU» (107023 Moscow, Bolshaya Semenovskaya str., 38 b), e-mail: samveljan.hachatryan@mail.ru;

<sup>2</sup> National Mineral Resources University (Mining University) (2, 21-line V.O., 199106 Saint Petersburg, Russian Federation), e-mail: dzadkov@yandex.ru

---

In the article the results of the sink-float separator reliability analysis are shown. Research is based on the process taking place at central dressing plant "Pechorskaya", which belongs to Vorkutaugol Company. By results of real-time monitoring was determined that, most part of breakdowns was caused by engine overcharge, gear failure and pipeline cleaning. Sink-float separator reliability estimation based on its technical characteristics is suggested. Mathematical model of separator's reliability is described. It is determined, that no-failure operation of the separator is possible only with technical staff support. SKVP-20 separator no-failure operation time statistical law is given. Shown method could be used to carry out a reliability assessment of the available models, and models, that are new, and also to give recommendations about separator's updating. Taken results could be used in train of sink-float separator exploitation.

Keywords: reliability, exploitation, maintenance, theoretical and experimental analysis, sink-float separator, ore dressing, dressing plant, breakdown, engine overcharge, mathematical model, theory of probability, statistical law, no-failure operation, recovery.

При разработке, испытаниях и эксплуатации технического оборудования важное значение приобретают вопросы обеспечения их надежности. Надежность в сложившихся представлениях определяется как одно из основных свойств оборудования, характеризующих ее способность выполнять заданные функции в процессе эксплуатации [3].

Вопросам надежности сепараторов посвящен ряд научных работ [1; 2; 6]. Исследование надежности работы технологических узлов может иметь прикладное значение

только при условии получения практических данных об отказах, полученных в условиях промышленной эксплуатации.

При эксплуатации горного оборудования любого назначения и конструкций возникают как внезапные, так и постепенные отказы. Внезапные отказы возникают в первую очередь в результате ошибок при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Постепенные отказы – в результате длительной эксплуатации оборудования, в результате нарушения прочности и снижения долговечности под влиянием знакопеременных нагрузок и вибрации, в том числе отказы в результате износа и старения материалов.

### **Цель исследований**

Надежность оборудования, как и всякого технического объекта, зависит от показателей его конструктивных узлов и элементов. Исследование тяжелосреднего сепаратора СКВП-20, базируется на опытных статистических данных об отказах, которые после обработки позволяют установить законы распределения времени безотказной работы (вероятность безотказной работы) и времени восстановления (вероятность продолжительности отказа) и предложить математическую модель, отражающую изменение надежности работы узлов во времени.

### **Метод исследования**

Основными положениями анализа являются:

- методика исследования надежности работы сепаратора СКВП-20;
- определение закона распределения времени безотказной работы и времени восстановления тяжелосредних сепараторов СКВП-20;
- определение параметров полученного распределения, установление правомочности аппроксимации экспериментальных результатов выбранных видов распределения с теоретическими.

Обработка полученных опытных данных проводилась согласно математической статистике [5]. План наблюдений за объектами, реализованный на ЦОФ, соответствует плану  $[N, R, T]$ , где  $N$  – число сепараторов, взятых под наблюдение, символ  $R$  обозначает, что после отказов наблюдаемые объекты заменяли на новые или восстанавливались, после чего опять велось наблюдение.

Время подконтрольной эксплуатации прекращалось в заранее установленный момент  $T$ . Число отказов при такой системе наблюдений является случайной величиной.

Обработка исходных данных для установления функций распределения времени безотказной работы и времени восстановления производится в следующем порядке.

1. Данные о времени безотказной работы и восстановления располагаются в порядке возрастания, диапазон значений разбивается на 6-12 интервалов. Для каждого интервала

определяется:

– частота попадания в интервал и эмпирическая частота (плотность) распределения времени безотказной работы и восстановления;

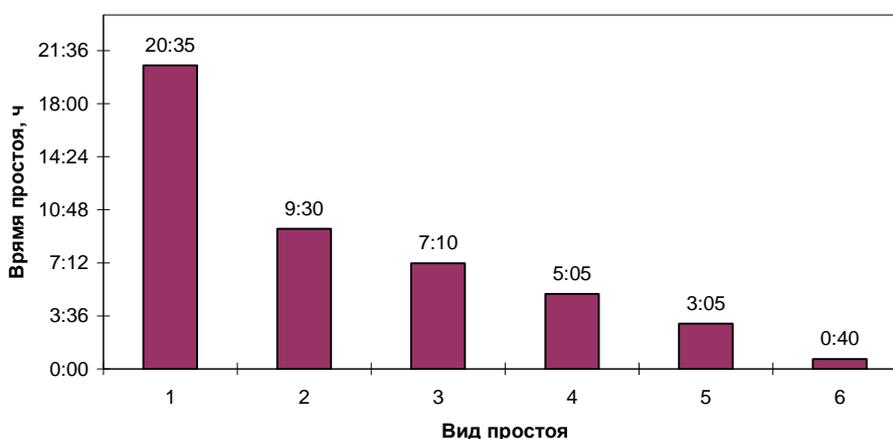
– накопленные частоты на всем промежутке рассмотренных интервалов.

2. Определяется математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение времени безотказной работы и восстановления.

3. По накопленным частотам строятся гистограммы и суммарные кривые, по которым устанавливаются возможные виды теоретических законов распределения. Производится проверка соответствия эмпирических кривых распределения теоретическим законам.

### Результаты исследования и их обсуждение

Время простоя тяжелосредного сепаратора СКВП-20 из-за отказов его конструктивных узлов и элементов представлено на рисунке 1.



*Рис. 1. Время простоя тяжелосредного сепаратора типа СКВП-20 из-за его конструктивных узлов и элементов: 1 – сработала токовая защита вследствие перегруза двигателя (наличие постороннего предмета); 2 – очистка технологического трубопровода вследствие заштыбовки; 3 – оборвало лепестковую передачу; 4 – вырвало уплотнение между рабочим колесом и ванной сепаратора вследствие износа металлоконструкций; 5 – ремонт металлоконструкций вследствие износа; 6 – срезало пальцы на большой зубчатой звездочке*

Исследованиями установлено, что наиболее распространенными отказами тяжелосредного сепаратора СКВП-20 являются: перегруз двигателя, обрыв лепестковой передачи, очистка технологического трубопровода. Результаты обработки статистических данных приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

### Таблица 1

Распределение времени безотказной работы и времени аварийного ремонта тяжелосредных сепараторов типа СКВП-20

Наработка между отказами							Время аварийного ремонта					
№ ПП	Интервал (наработка между отказами), мм	Частоты эмпирические, шт. $m_i$	Эмпирическая частота, % $m_i/\sum m_i$	Плотность распределения, %	Распределение $P_1=P(T_1 \geq t)$	Теоретическое распределение (экспонента), $P_1=e^{-t/T_1}$	Интервал (время аварийного ремонта), час	Частоты эмпирические, шт. $m_i$	Эмпирическая частота, % $m_i/\sum m_i$	Плотность распределения, %	Распределение $P_2=P(T_2 \geq t)$	Теоретическое распределение (экспонента), $P_2=e^{-t/T_2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0 - 50	67	45,6	45,6	100,0	100,0	0 - 15	102	69,39	69,39	100,0	100,0
2	51 - 100	40	27,2	27,2	54,4	55,2	16 - 30	21	14,29	14,29	30,61	36,12
3	101 - 150	12	8,2	8,2	27,2	30,8	31 - 45	10	6,80	6,80	16,32	16,13
4	151 - 200	10	6,8	6,8	19,0	17,2	46 - 60	7	4,76	4,76	9,52	6,67
5	201 - 250	9	6,1	6,1	12,2	9,6	61 - 75	4	2,72	2,72	4,76	2,76
6	251 - 300	5	3,4	3,4	6,1	5,4	76 - 90	3	2,04	2,04	2,04	1,14
7	301 - 350	4	2,7	2,7	2,7	3,0						
	Сумма	147						147				

Сравнение распределений вероятностей эмпирических с теоретическими (рис. 2) показывает, что максимальное расхождение для вероятности безотказной работы не превышает 3,6% (интервал 3) и 5,5% для вероятности продолжительности восстановления (интервал 2), что указывает на хорошее соответствие эмпирических законов распределения экспоненциальным теоретическим.

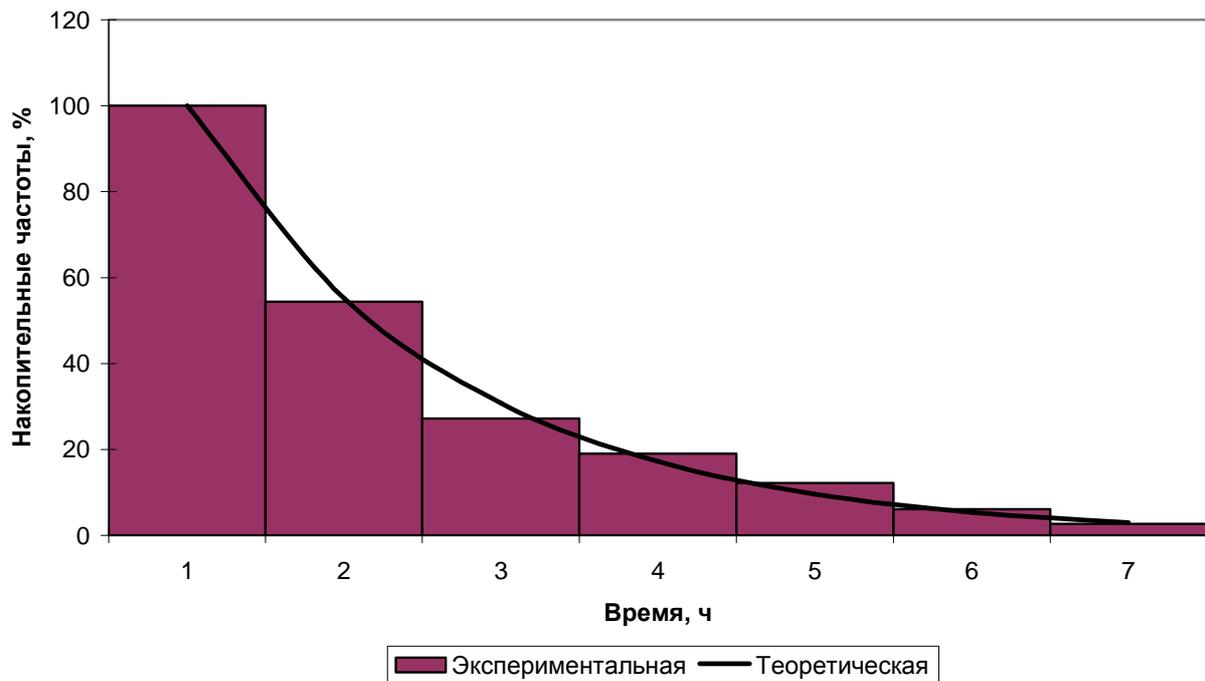
При проверке соответствия между экспериментальным и теоретическим распределениями по критерию Колмогорова [4] определяется максимальное расхождение между экспериментальной и теоретической функциями, на основании которых определяются величины:

$$a_1 = D\sqrt{n} = 0,036 \cdot \sqrt{147} = 0,44$$

$$a_2 = 0,055 \cdot \sqrt{147} = 0,67$$

где  $D$  – максимальное значение разницы между теоретическим и эмпирическим распределениями;  $n$  – количество зарегистрированных отказов.

а)



б)

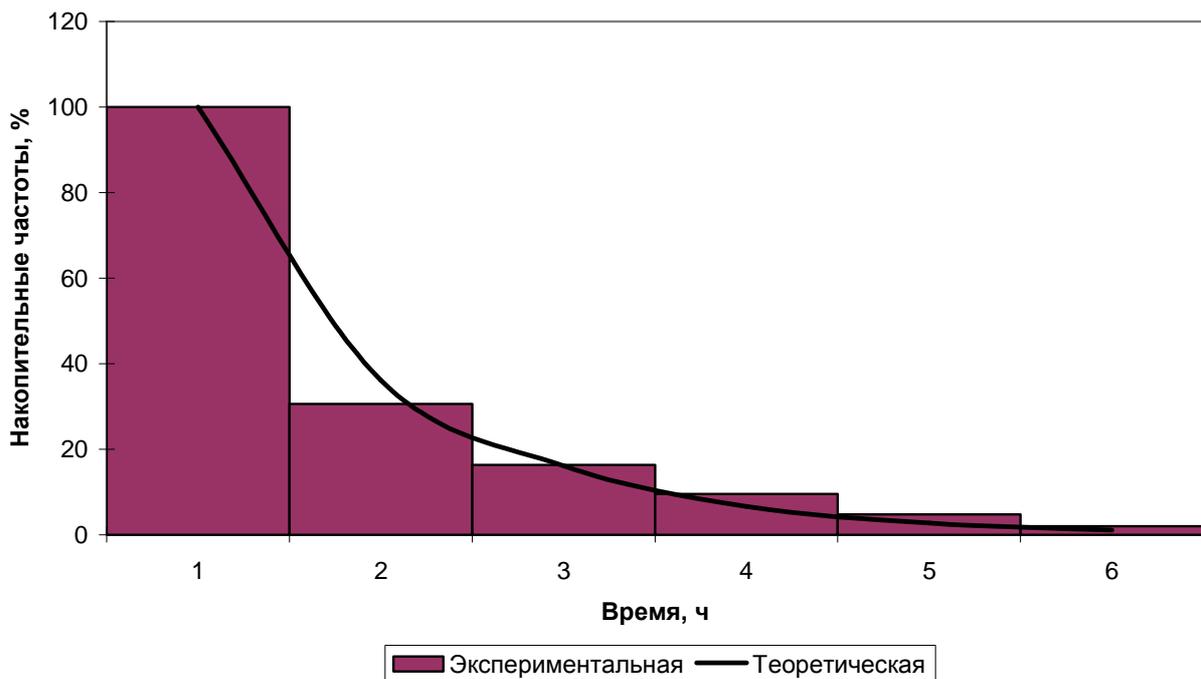


Рис. 2. Кумулятивные кривые распределения:

*а* – времени безотказной работы тяжелосредных сепараторов СКВП-20;

*б* – времени восстановления отказов тяжелосредных сепараторов СКВП-20

На основании значений  $a_1$  и  $a_2$  по таблице [4] определяется критерий Колмогорова, который для рассматриваемого случая равен  $P(a_1) = 0,98$  и  $P(a_2) = 0,834$ , что указывает на хорошее соответствие экспериментальных данных теоретическому экспоненциальному закону распределения (если  $P(\alpha) \geq 0,05$ , то принимается гипотеза о согласованности экспериментальных и теоретических распределений).

Экспериментальные кривые распределения времени безотказной работы и времени восстановления дают возможность проследить изменение вероятности безотказной работы до первого отказа и вероятности продолжительности отказа в зависимости от времени: кривые распределения представляют собой графики вероятности безотказной работы и вероятности продолжительности отказа (рис. 2).

На 15-минутном интервале вероятность безотказной работы составляет 80-90%, на 1,5-часовом интервале она снижается до величины 40-50%. Низкие значения вероятности безотказной работы показывают, что нормальная работа тяжелосреднего сепаратора СКВП-20 может происходить только при условии постоянного обслуживания технологическим персоналом.

### **Заключение**

В результате исследований установлено, что эффективная работа сепаратора возможна только при наличии обслуживающего персонала.

Определен закон распределения времени безотказной работы и времени восстановления тяжелосредних сепараторов СКВП-20.

Полученные в данной статье результаты могут быть использованы в качестве исходных для постановки и решения ряда задач теории надежности, например, задачи определения необходимого резерва запасных частей, задачи определения оптимальной периодичности замены отдельных элементов тяжелосреднего сепаратора СКВП-20 и других.

### **Список литературы**

1. Болошин Н.Н., Гашичев В.И. Надежность работы технологических узлов и оборудования обогатительных фабрик. - М. : Недра, 1974. – 324 с.
2. Болошин Н.Н., Гашичев В.И. Оценка надежности работы магнитных сепараторов // Обогащение руд. – 1968. – № 3. – С. 41-46.
3. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надежность горно-транспортных машин. - М. : Машиностроение, 1968. – 285 с.
4. Венцель Е.С. Теория вероятностей. - М. : Наука, 1969. – 341 с.
5. Завадский Ю.В. Методика статистической обработки экспериментальных данных. - М. : МАДИ, 1973. – 215 с.
6. Мушловин Л.Б. Определение и оценка результатов обогащения на углеобогатительных фабриках. - М. : Госгортехиздат, 1963. – 280 с.

**Рецензенты:**

Тарасов Ю.Д., д.т.н., профессор, профессор кафедры горных транспортных машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург;

Юнгмейстер Д.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры машиностроения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург.